



---

AVALIAÇÃO DA APTIDÃO TERRITORIAL PARA A INSTALAÇÃO DE CENTRAIS  
FOTOVOLTAICAS: uma proposta de modelo aplicado ao Concelho de Ourique

---

Sara Isabel Beato Rodrigues

---

Trabalho de Projecto apresentado como requisito parcial  
para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Sistemas  
de Informação Geográfica

---

NOVA Information Management School

**AVALIAÇÃO DA APTIDÃO TERRITORIAL PARA A INSTALAÇÃO DE CENTRAIS  
FOTOVOLTAICAS: uma proposta de modelo aplicado ao Concelho de Ourique**

**Trabalho de Projecto orientado por:  
Professor Doutor Pedro da Costa Brito Cabral**

**Trabalho de Projecto co-orientado por:  
Professor Mário Baptista Coelho**

**Agosto de 2015**

## **DEDICATÓRIA**

*Aos meus pais, pelo exemplo e bases que me transmitiram.  
E aos meus filhos e marido, pela pessoa em que me tornaram.*

## AGRADECIMENTOS

Porque um trabalho desta natureza não podia ser feito sozinho...

Agradeço aos professores Dr. Pedro Cabral, Dr. Mário Baptista Coelho e Dr. José Guerreiro o voto sincero de confiança, disponibilidade, apoio e orientação científica de excelência neste meu trabalho, através da formulação de críticas, sugestões e correcções. Congratulo-me por terem partilhado comigo o tão grande conhecimento que os caracteriza, fundamental para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho de projecto.

À Câmara Municipal de Ourique, especialmente ao Sr. Presidente, Dr. Pedro do Carmo, o meu sincero agradecimento pela disponibilização da informação que se revelou indispensável à elaboração do estudo de caso.

Ao Rodolfo, meu marido, meu companheiro e meu principal crítico, agradeço pelo apoio nos conteúdos, na revisão do texto, na clarvidência partilhada e por me ter acompanhado ao longo desta odisseia, dando-me força e confiança, tornando possível este trabalho.

Aos meus filhos, um muito obrigada por preencherem a minha vida com amor e alegria incondicional. E à minha família, pelo apoio e por compreenderem a minha ausência nesta altura.

À Fátima, colega desta etapa, por ter tornado possível o início deste trabalho, nomeadamente durante a parte curricular deste curso, e por ter partilhado comigo o seu conhecimento.

À Paulinha, colega de licenciatura, amiga para a vida, pela sua disponibilidade, pela preciosa ajuda no desbloqueio de dúvidas “existenciais” relativas à aplicação da metodologia ao caso de estudo e pela revisão do texto e conteúdos.

Termino com um agradecimento a todos os que de alguma forma contribuíram para a elaboração, qualidade e conclusão deste trabalho.

## **AVALIAÇÃO DA APTIDÃO TERRITORIAL PARA A INSTALAÇÃO DE CENTRAIS FOTOVOLTAICAS: uma proposta de modelo aplicado ao Concelho de Ourique**

### **RESUMO**

Portugal possui um enorme potencial no que respeita à geração de energia por via de fontes renováveis, facto que apesar dos esforços, continua ainda subaproveitado. A zona continental sul portuguesa, na qual se insere o Alentejo, é tida como especialmente favorável ao aproveitamento da energia solar por meio da tecnologia solar fotovoltaica, realçando-se para tal os registos de radiação solar, as condições topográficas, o escasso povoamento e a disponibilidade de território. Em meados de 2020, Portugal terá certamente de cumprir com os compromissos europeus e nacionais em termos de cota energética baseada em fontes renováveis – facto atingido com alguma eficácia e eficiência se antecipadamente planeado e projectado na sua magnitude. Pretende-se, pois, um instrumento de apoio à implementação planeada de parques solares fotovoltaicos fora dos perímetros urbanos, baseado nos critérios de produtividade do sistema tecnológico e de equilíbrio ambiental, social e económico do espaço. Este trabalho de projecto apresenta uma metodologia tida como adequada para a avaliação da aptidão territorial fotovoltaica, desenvolvida em ambiente SIG, com base num conjunto de critérios (factores de produtividade e condicionantes territoriais) determinados em função da localização e através das ferramentas e técnicas de análise espacial multicritério, testada, posteriormente, num caso prático na zona sul de Portugal, o Concelho de Ourique. Os resultados da aplicação do modelo ao caso de estudo demonstraram que, embora maioritariamente caracterizado por uma aptidão territorial fotovoltaica moderada, Ourique tem 14 000 ha classificados como de alta aptidão, o correspondente a 1/5 da área do concelho, concentrados no quadrante Noroeste e Centro.

# **ASSESSING THE SUITABILITY OF LAND FOR INSTALLING PHOTOVOLTAIC PLANTS: a proposed model applied to the municipality of Ourique**

## **ABSTRACT**

Portugal has a huge potential with regard to power generation through renewable sources. However, this resource is still underused. The southern Portuguese continental zone, in which is located the Alentejo, is considered particularly favorable to solar energy production through solar photovoltaic technology due to the high levels of solar radiation, topographic conditions, the low population density and the high availability of land. In mid-2020, Portugal will need to fulfill the European and national commitments in terms of renewable energy quota – this is an achievable fact if efficiently and effectively planned in advance. This work aims to provide a tool to support the implementation of solar PV parks outside the urban perimeters based on the system productivity and on the environmental, social and economic space balance. This project presents a GIS methodology for calculating the photovoltaic site suitability in the south of Portugal, the municipality of Ourique. The criteria, yield factors and territorial constraints, were determined using multicriteria analysis. The application of the model to the case study demonstrated that, although largely characterized by a moderate photovoltaic site suitability, Ourique has 14 000 hectares classified as high suitable areas, corresponding to 1/5 of the area, concentrated in the northwest quadrant and center.

## **PALAVRAS-CHAVE**

Energia solar fotovoltaica  
Modelação em Sistemas de Informação Geográfica  
Análise multicritério  
Aptidão Territorial  
Sustentabilidade  
Zona Sul de Portugal  
Alentejo  
Concelho de Ourique

## **KEYWORDS**

Photovoltaic solar energy  
Modeling for Geographic Information Systems  
Multicriteria analysis  
Site Suitability  
Sustainability  
The South of Portugal  
Alentejo  
Municipality of Ourique

## ACRÓNIMOS

**AHP** – *Analytical Hierarch Process*  
**AIA** – Avaliação de Impacto Ambiental  
**AJS&A** – António José Sá & Associados, Consultores em Planeamento, Marketing e Turismo, Lda.  
**APA** – Agência Portuguesa do Ambiente  
**APGEO** – Associação Portuguesa de Geografia  
**ARH** – Autoridade Regional Hidrográfica  
**ASTER** – *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*  
**BA** – Baixo Alentejo  
**CAD** – *Computer Aided Design*  
**CAOP** – Carta Administrativa Oficial de Portugal  
**CCDRA** – Comissão de Coordenação de Desenvolvimento Regional do Alentejo  
**CCE** – Comissão das Comunidades Europeias  
**CE** – Comissão Europeia  
**CES** – Centro de Estudos Sociais  
**CM** – Caminho Municipal  
**CMM** – Câmara Municipal de Moura  
**CMO** – Câmara Municipal de Ourique  
**CO<sub>2</sub>** – Dióxido de Carbono  
**COS** – Carta de Ocupação do Solo  
**CPV** – Fotovoltaico de Concentração  
**DGEG** – Direcção Geral da Energia e Geologia  
**DGPC** – Direcção Geral do Património Cultural  
**DGRF** – Direcção Geral dos Recursos Florestais  
**DGT** – Direcção Geral do Território  
**DH** – Domínio Hídrico  
**DL** – Decreto-Lei  
**DR** – Diário da República  
**DRAPAL** – Direcção Regional da Agricultura e Pescas do Alentejo  
**EGA** – *Environmental Governance Advisors*  
**EM** – Estrada Municipal  
**ENE** – Estratégia Nacional para a Energia  
**EPSG** – *European Petroleum Survey Group*  
**ESRI** – *Environmental Systems Research Institute*  
**FENR** – Fontes de Energia Não Renováveis  
**FER** – Fontes de Energia Renováveis  
**GDB** – *Geodatabase*



**GDEM2** – *Global Digital Elevation Model Version 2*

**GEE** – Gases com Efeito de Estufa

**GIS** – *Geographical Information System*

**GWH** – *Gigawatt hora*

**IC** – Itinerário Complementar

**ICNF** – Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas

**IEA** – *International Energy Agency*

**IGEOE** – Instituto Geográfico do Exército

**IGT** – Instrumentos de Gestão Territorial

**IIP** – Imóvel de Interesse Público

**INE** – Instituto Nacional de Estatística

**IP** – Itinerário Principal

**ISA** – Instituto Superior de Agronomia

**IST** – Instituto Superior Técnico

**KM** – Quilómetro

**KTEP** –  $10^3$  tep

**KW** – Quilowatt

**KWH** – Quilowatt hora

**KWP** – Quilowatt pico

**LDA** – Limitada

**M<sup>2</sup>** – Metro quadrado

**MAOTDR** – Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional

**MCA** – *Multi-criteria analysis*

**MCDA** – *MultiCriteria Decision Analysis*

**MCE** – *Multicriteria Evaluation*

**MDE** – Modelo Digital de Elevação

**METI** – *Ministry of Economy, Trade and Industry*

**MN** – Monumento Nacional

**MP** – Medida Prioritária

**MR** – Monte da Rocha

**MW** – *Megawatt*

**MWP** – *Megawatt pico*

**NASA** – *National Aeronautic and Space Administration*

**NE** – Nordeste

**NUT** – Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos

**NW** – Noroeste

**°C** – Graus Celsius

**OE** – Objectivo Estratégico

**OEBT** – Objectivo Estratégico de Base Territorial

**OECD** – *Organisation for Economic Co-operation and Development*

**OWA** – *Ordered Weighted Averaging*

**PDM** – Plano Director Municipal

**PIB** – Produto Interno Bruto

**PMDFCI** – Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios

**PMOT** – Plano Municipal de Ordenamento do Território

**PNAER** – Plano Nacional de Acção para Energias Renováveis

**POA** – Plano de Ordenamento da Albufeira

**PP** – Plano de Pormenor

**PRN** – Plano Rodoviário Nacional

**PROFBA** – Plano Regional de Ordenamento Florestal do Baixo Alentejo

**PROT** – Plano Regional de Ordenamento do Território

**PROTA** – Plano Regional de Ordenamento do Território do Alentejo

**PV** – Fotovoltaico

**PVGIS** – *Photovoltaic Geographical Information System*

**RAN** – Reserva Agrícola Nacional

**RCM** – Resolução de Conselho de Ministros

**REN** – Reserva Ecológica Nacional

**RN2000** – Rede Natura 2000

**SA** – Sociedade Anónima

**SC** – Santa Clara

**SE** – Sudoeste

**SEARN** – Secretaria de Estado do Ambiente e Recursos Naturais

**SEI** – *Solar Energy International*

**SIC** – Sítio de Importância Comunitária

**SIG** – Sistema de Informação Geográfica

**SNIRH** – Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos

**TEP** – Tonelada equivalente de petróleo

**TIN** – *Triangulated Irregular Network*

**TOPSIS** – *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions*

**UE** – União Europeia

**UE25** – União Europeia a 25 países

**UN** – Nações Unidas

**UNL** – Universidade Nova de Lisboa

**UT** – Unidade Territorial

**UTL** – Universidade Técnica de Lisboa

**W** – *Watt*

**WCED** – *World Commission on Environment and Development*

**WH** – *Watt hora*

**WLC** – *Weighted Linear Combination*  
**WMS** – *Web Map Service*  
**WNA** – *World Nuclear Association*  
**ZEC** – Zona Especial de Conservação  
**ZEP** – Zona Especial de Protecção  
**ZPE** – Zona de Protecção Especial

## ÍNDICE DO TEXTO

DEDICATÓRIA	iii
AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
PALAVRAS-CHAVE	vii
KEYWORDS	vii
ACRÓNIMOS	viii
ÍNDICE DE TABELAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento e Motivação	1
1.2 Objectivos	2
1.3 Metodologia Geral	3
1.4 Premissas do Trabalho de Projecto	4
1.5 Estrutura e Organização do Trabalho de Projecto	4
2. A ENERGIA SOLAR EM PORTUGAL	6
2.1 Introdução	6
2.2 Enquadramento	6
2.3 Energia Solar	10
2.4 Sistema Solar Fotovoltaico (PV)	11
2.5 Panorama Solar Nacional	14
2.6 Potencial Solar de Portugal	17
2.7 Região do Alentejo	20
2.8 Conclusões do capítulo	23
3. FACTORES E CONDICIONANTES NA INSTALAÇÃO DE CENTRAIS FOTOVOLTAICAS	24
3.1 Introdução	24
3.2 Factores de Produtividade	25
3.3 Condicionantes Territoriais	33
3.5 Conclusões do capítulo	43
4. METODOLOGIA SIG PARA AFERIÇÃO DA APTIDÃO SOLAR FOTOVOLTAICA	44
4.1 Introdução	44
4.2 Modelação SIG	44
4.3 Pré-processamento	48
4.4 Processamento Raster	49
4.4.1 Modelo Digital de Elevação	52
4.4.2 Cálculo da Radiação Solar	55

4.5 Análise Multicritério	59
4.6 Conclusões do capítulo	65
5. O CONCELHO DE OURIQUE COMO CASO DE ESTUDO	66
5.1 Introdução	66
5.2 Caracterização e justificação da área de estudo	66
5.3 Dados	69
5.4 Critérios para aferição territorial fotovoltaica no Concelho de Ourique	72
5.5 Aplicação da Metodologia ao Caso de Estudo	73
5.5.1 Pré-Processamento	73
5.5.2 Processamento Raster	75
5.5.3 Análise Multicritério	82
5.6 Apresentação dos resultados	83
5.7 Conclusões do capítulo	85
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	86
6.1 Discussão dos resultados	86
6.2 Identificação das principais limitações	88
6.3 Propostas de desenvolvimentos futuros	90
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91
ANEXOS	105
Mapa 1 – Declives do Concelho de Ourique em %	106
Mapa 2 – Orientações do Concelho de Ourique em (°)	107
Mapa 3 – Combinação dos Declives com Orientações	108
Mapa 4 – Radiação solar global do Concelho de Ourique para o ano de 2011 em kWh/m <sup>2</sup> /dia	109
Mapa 5 – Temperaturas médias máximas dos meses mais quentes do Concelho de Ourique, em °C (1961-1991)	110
Mapa 6 – Distâncias Euclidianas às Linhas Eléctricas de Média e Baixa Tensão, em metros, para Ourique	111
Mapa 7 – Distâncias Euclidianas à Rede Viária Nacional e Municipal, em metros, para Ourique	112
Mapa 8 – Condicionantes Territoriais de Ourique	113
Mapa 9 – Aptidão Territorial Fotovoltaica do Concelho de Ourique	114

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Energia Eléctrica Fotovoltaica, Produção em GWh e Potência Instalada em MW, em Portugal e por Região, para os anos de 2007 e 2014.....	21
Tabela 2 – Número de Consumidores e Consumo de Energia Eléctrica, por tipo em nº e kWh, respectivamente, para a região do Alentejo, no ano de 2012 .....	22
Tabela 3 – Listagem dos dados de base utilizados na aplicação do modelo ao caso de estudo.....	70
Tabela 4 – Identificação dos critérios para aplicação do modelo ao caso de estudo .....	73
Tabela 5 – Classes de reclassificação da combinação dos Declives com as Orientações .....	77
Tabela 6 – Classes de reclassificação da Radiação solar global .....	78
Tabela 7 – Classes de reclassificação da Temperatura .....	79
Tabela 8 – Classes de reclassificação das linhas eléctricas e rede viária .....	81
Tabela 9 – Classes de reclassificação das condicionantes .....	81
Tabela 10 – Pesos atribuídos a cada variável na análise multicritério .....	83
Tabela 11 – Aptidão territorial fotovoltaica no Concelho de Ourique, por classes, área e percentagem .....	85

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução do consumo total de energia primária para Portugal, no período entre 1995 e 2012 (%) .....	14
Figura 2 – Evolução da produção de energia eléctrica a partir de FER, para Portugal, no período 1995-2013 (%) .....	15
Figura 3 – Evolução da produção de energia eléctrica a partir de FER, por tipo de fonte, em Portugal, 1995 – 2013 (%) .....	15
Figura 4 – Evolução da Potência instalada nas centrais de produção de energia eléctrica a partir de FER, em Portugal, para o período 1995-2013.....	16
Figura 5 – Insolação, valores médios anuais no período 1931-1960: A – Portugal Continental; B: Região do Alentejo .....	17
Figura 6 – Componentes da Radiação Solar.....	18
Figura 7 – Média anual da radiação solar global para uma superfície horizontal e optimamente inclinada e potencial de electricidade solar para uma inclinação óptima, para a Europa, no período 1998-2011 .....	19
Figura 8 – Enquadramento territorial do Alentejo .....	20
Figura 9 – Esquema de decisão em termos de energia solar .....	24
Figura 10 – Órbita da Terra em torno do Sol.....	26
Figura 11 – Radiação solar à superfície terrestre.....	26
Figura 12 – Influência da variação da radiação solar na curva <i>I-V</i> de uma célula PV silício cristalino na temperatura 25°C.....	27
Figura 13 – Radiação solar incidente em relevos complexos.....	28
Figura 14 – Determinação do ângulo de sombreamento entre os painéis .....	29
Figura 15 – Influência da temperatura da célula PV na curva <i>I-V</i> para uma radiação solar global de 1000 W/m <sup>2</sup> .....	30
Figura 16 – Fluxograma do cálculo da aptidão territorial fotovoltaica.....	47
Figura 17 – Cálculo da radiação solar com base num MDE com recurso ao ArcGIS .....	57
Figura 18 – Ferramenta <i>Weighted Sum</i> do ArcGIS.....	64
Figura 19 – Enquadramento territorial do Concelho de Ourique .....	66
Figura 20 – Fluxograma das operações na fase do Processamento Raster .....	75
Figura 21 – Declives do Concelho de Ourique em %.....	76
Figura 22 – Orientações do Concelho de Ourique em (°).....	76
Figura 23 – Combinação dos Declives com Orientações .....	77
Figura 24 – Radiação solar global do Concelho de Ourique para o ano de 2011 em kWh/m <sup>2</sup> /dia.....	78
Figura 25 – Temperaturas médias máximas dos meses mais quentes do Concelho de Ourique, em °C (1961-1991).....	79
Figura 26 – Distâncias Euclidianas às Linhas Eléctricas de Média e Baixa Tensão, em metros, para Ourique .....	80

Figura 27 – Distâncias Euclidianas à Rede Viária Nacional e Municipal, em metros, para Ourique .....	80
Figura 28 – Condicionantes Territoriais de Ourique .....	81
Figura 29 – Fluxograma dos procedimentos da aplicação da análise multicritério .....	82
Figura 30 – Aptidão Territorial Fotovoltaica do Concelho de Ourique .....	84



## 1. INTRODUÇÃO

A energia, elemento tido como indispensável na actividade e no bem-estar da humanidade, descrito mesmo como recurso vital e com importância estratégica, tem despoletado uma série de discussões, elações e estratégias no sentido da minoração dos efeitos que causa no ambiente e no assegurar dos níveis de produção aos quais as sociedades estão habituadas. Ora, quer pela consciência da limitação inerente às fontes de energia não renovável (FENR) quer pela introdução de conceitos relativos à sustentabilidade, equilíbrio e preocupação ambiental incorporados em planos, normativas e documentos estratégicos, tem-se verificado, um pouco por todo o mundo, o incremento dos modos de produção de energia baseada em fontes renováveis.

À semelhança do panorama mundial e europeu, tem-se assistido, em Portugal, a uma aposta mais ou menos consistente em modos de produção de energia alternativos ou complementares, baseados em fontes de energia renováveis (FER), com as devidas adaptações às especificidades de cada região. Da panóplia de FER, este estudo aborda especificamente a energia solar fotovoltaica enquanto fonte de geração de energia, a qual reúne as condições de realização do seu potencial, em termos geográficos, na região sul de Portugal – o Alentejo.

Tendo em conta a previsão de crescente procura de energias renováveis, quer pela limitação de oferta de combustíveis fósseis, quer por razões ambientais, a aposta da região do Alentejo na energia solar pode constituir uma oportunidade com forte potencial de inovação tecnológica, com vantagens decorrentes da produção descentralizada mais adequada ao sistema de povoamento em questão e com capacidade de integração na rede eléctrica permitindo igualmente colmatar algumas falhas de mercado.

Para além disso, pelas suas características intrínsecas (um dos mais altos níveis de insolação e radiação da Europa, disponibilidade de espaço não edificado ou com utilização efectiva e baixa densidade populacional), o Alentejo constitui por si só um dos grandes “factores” que contribuem ou deviam contribuir positivamente para a aposta na energia solar fotovoltaica em Portugal (Carvalho *et al*, 2009).

### 1.1 Enquadramento e Motivação

Em termos energéticos, Portugal, tem o objectivo de aumentar a potência instalada da energia solar até ao ano de 2020, conforme referido na Estratégia Nacional para a Energia 2020 (ENE 2020). Este facto foi posteriormente reforçado pela Resolução do Conselho de Ministros (RCM) n.º 29/2010, de 15 de Abril, que reflecte a importância do recurso solar e a sua perfeita complementaridade com as restantes FER, já que é gerada nas horas de maior consumo energético. Dos 1500MW inicialmente avançados como meta para 2020, 1000MW estão previstos, essencialmente, para o Alentejo e Algarve, justificado em muito pela predominância do significativo número de horas de sol nestas regiões e níveis de radiação solar registados.

Relativamente ao Alentejo importa salientar a estreita articulação do tema com as opções estratégicas apresentadas no Plano Regional de Ordenamento do Território do Alentejo (PROTA), publicado pela RCM n.º 53/2010, de 2 de Agosto, que defende que a sustentabilidade energética da região deve passar pela aposta em projectos de produção de energia a partir de FER, nomeadamente, projectos solares fotovoltaicos, pois ao permitirem a descentralização da produção estão mais adequados às características do povoamento da região como forma de mudança do paradigma energético.

Considerando a necessidade cada vez mais urgente dos territórios tornarem-se energeticamente “auto-suficientes”, os mecanismos e apoios estipulados e incorporados já na legislação portuguesa (embora temporariamente suspensos ou penalizados), a cota fixada na ENE e no Plano Nacional de Acção para Energias Renováveis (PNAER) em matéria de potência a instalar para a energia solar em Portugal até 2020 e a propensa radiação solar do Alentejo, estão, em parte, fixadas as condições para a proliferação de projectos solares.

Assim, tendo em conta, a morosidade muitas vezes característica dos processos e estudos de aferição do potencial de determinada área, contrariamente à celeridade a que um projecto de implementação de um parque solar obriga (ou mesmo à diligência característica da efectivação de um investimento) surge a necessidade de antecipar a multiplicação deste tipo de projectos. Esta antecipação deve resultar num instrumento expedito o qual garanta a boa execução dos investimentos solares fotovoltaicos, sem comprometer as políticas e opções de planeamento e ordenamento do território, no respeito efectivo das condições intrínsecas ao espaço e apetência do mesmo.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), surgem neste trabalho como elementos tecnológicos e ferramentas expeditas, que pelas suas características em termos de interface, capacidade de processamento, metodologia e modelação, contribuem claramente para a elaboração de instrumentos de estudo ou sustentação de tomada de decisões relacionados com a aposta nas energias solares como modos de produção de energia, neste caso, uma vez que permitem a integração, sobreposição e análise de diversas fontes e formatos de dados, factores, atributos e variáveis com referenciação espacial.

## **1.2 Objectivos**

Em primeira análise, é objectivo deste trabalho desenvolver uma metodologia em ambiente SIG que permita a aferição da aptidão solar para aproveitamentos fotovoltaicos, recorrendo à modelação espacial, sobre um conjunto de variáveis criteriosamente seleccionadas pela influência que detêm no sistema energético solar de produção e no equilíbrio ambiental, social e económico do território. Incidirá especificamente no cálculo da radiação solar, incluindo as variáveis ambientais, no processamento raster, na modelação em SIG e na análise multicritério difusa ponderada.

Para a valoração e validação da aptidão bem como para a selecção das variáveis e seus pesos no cálculo da aptidão, recorrer-se-á a um painel de peritos tendo igualmente como suporte a consulta bibliográfica de referência.

De forma a comprovar a aplicabilidade da metodologia / modelo de aptidão solar fotovoltaica desenvolvido, este será testado num caso de estudo – o Concelho de Ourique, inserido numa das regiões com maior apetência para este tipo de fonte de energia, contribuindo, simultaneamente, para a supressão de uma lacuna em termos de informação cartográfica existente.

Em última análise, pretende-se que desta metodologia resulte um instrumento expedito para a implementação de parques solares fotovoltaicos, ou seja, uma ferramenta passível de ser replicada, mediante a normalização dos critérios que influem na aptidão e a pormenorização ou detalhe dos elementos intrinsecamente relacionados com as especificidades da região em causa. Crê-se, portanto, que facilitará as eventuais pressões ou decisões tecnicamente fundamentadas aquando da necessidade de avançar para o alcance da cota energética definida, podendo desta forma ser um instrumento para quem zela por um planeamento e ordenamento do território mais equilibrado, permitindo a antecipação necessária para a instalação de parques solares fotovoltaicos para produção de energia, fora das áreas urbanas.

### **1.3 Metodologia Geral**

Para o desenvolvimento do presente trabalho, a metodologia adoptada inclui obrigatoriamente um faseamento planeado que abrange as seguintes fases:

1. Pesquisa bibliográfica acerca das várias temáticas que influem no tema específico do trabalho, através dos vários recursos disponíveis (bibliotecas, internet, etc.) e de reuniões de trabalho realizadas com os orientadores e peritos da temática;
2. Definição específica da tecnologia solar fotovoltaica, da escala dos projectos e consequentemente das premissas do sistema, para efeitos de identificação dos dados necessários e posterior organização da metodologia de aptidão a desenvolver;
3. Recolha da informação geográfica e territorial a servir de base ao teste do modelo metodológico a desenvolver e identificação do software SIG a utilizar no desenvolvimento do modelo;
4. Identificação e selecção das fontes de informação a utilizar quanto à avaliação da radiação (global e directa), orografia e temperatura;
5. Desenvolvimento do modelo conceptual de aptidão a aplicar em ambiente SIG baseado em fontes bibliográficas, na análise real e numa abordagem metodológica adequada à problematização em causa, a qual deve incidir:
  - a. Na elaboração de um fluxograma que reflecta a conceptualização inicial do modelo a aplicar;
  - b. No pré-processamento, ou seja, extracção, organização e estruturação inicial da informação geográfica, harmonização de formatos e sistemas de coordenadas;

- c. No processamento raster, que inclua operações de geoprocessamento, cálculo da radiação solar, reclassificação da informação geográfica a uma escala comum, de forma a permitir a sua análise conjunta interrelacional;
  - d. E na análise multicritério com a definição das operações e abordagens temáticas adequadas, identificando e especificando o esquema de ponderações e pesos a aplicar a cada uma das variáveis incluídas no modelo, com base na bibliografia e na informação facultada pelos peritos da temática;
6. Identificação definitiva da área de estudo (Concelho de Ourique), a qual deve incidir numa das áreas tidas como de maior aptidão solar fotovoltaica dada pela análise da radiação solar em Portugal e pela obtenção facilitada ou disponibilidade de dados e informação geográfica que cubra as premissas do sistema inicialmente identificadas;
7. Implementação e teste da aplicabilidade do sistema à área de estudo previamente seleccionada.

#### **1.4 Premissas do Trabalho de Projecto**

Para a realização do presente trabalho parte-se do pressuposto que:

1. Os SIG constituem importantes ferramentas de apoio à decisão, sobretudo na resolução de problemas de localização, optimização e aferição da aptidão baseada em critérios específicos da temática em causa (Eastman, 2012);
2. Portugal, para além de grande disponibilidade do recurso solar, apresenta ainda áreas especialmente aptas para o aproveitamento deste recurso para a geração de energia, embora esta aptidão continue por cartografar;
3. A aferição da aptidão de determinado território para a produção de energia eléctrica por meio dos solares fotovoltaicos deve ser valorada com base em critérios de produtividade e eficiência do próprio sistema (proximidade a linhas e subestações eléctricas de entrega de determinada potência, índice de radiação solar, temperatura, nebulosidade e orografia, por exemplo) e critérios de agilização do procedimento para a sua efectiva concretização (condicionantes agrícolas, florestais, ecológicas, ambientais e de uso ou ocupação do solo).

#### **1.5 Estrutura e Organização do Trabalho de Projecto**

Este trabalho de projecto está organizado em 6 capítulos, correspondendo a um estreitamento natural da temática em questão.

O trabalho inicia-se com um capítulo introdutório relativo ao enquadramento teórico da temática em estudo, onde se identificam os principais objectivos que fundamentam a elaboração do presente projecto com referência à metodologia e estrutura adoptadas.

O capítulo segundo refere-se ao estado da arte da energia, especificamente da energia solar. Aborda-se o conceito, importância e enquadramento da energia na sociedade como forma de explicação do actual

paradigma energético. Descrevem-se as características da energia solar e mais especificamente do sistema fotovoltaico (PV). É efectuada uma descrição do panorama nacional em termos de produção e consumo solar e do potencial solar, através da análise da radiação solar e da desagregação espacial em termos de localizações com maior potencial – a região do Alentejo.

O capítulo terceiro reporta-se à identificação das premissas que influem na produtividade e equilíbrio do sistema solar fotovoltaico e das condicionantes territoriais a equacionar na modelação da aptidão, com menção ao enquadramento da temática relativamente aos Instrumentos de Gestão Territorial (IGT), procedimento administrativo referente à operação urbanística e processo de licenciamento ou autorização associado.

O capítulo quarto alude ao modelo conceptual para o cálculo de aptidão solar fotovoltaica em ambiente SIG, incluindo, portanto, a referência à modelação, à justificação do processamento com dados raster, ao processo de cálculo da radiação solar especialmente relacionada com a ferramenta *Area Solar Radiation* do software *ArcGIS* 10.2 e à fundamentação da adopção da modelação multicritério.

O capítulo quinto reporta-se, em termos genéricos, à aplicação prática e teste do modelo conceptualmente apresentado no capítulo anterior a um caso prático. Para tal descreve-se e justifica-se a selecção da área em estudo, identificam-se os dados utilizados na modelação com base nas premissas previamente estabelecidas, explica-se a metodologia SIG adoptada realçando a valoração aplicada e apresentam-se os resultados obtidos.

No sexto e último capítulo apresenta-se uma breve discussão dos resultados, referindo, sempre que possível, as principais limitações e vantagens percebidas bem como os possíveis desenvolvimentos futuros no âmbito da temática do trabalho.

## 2. A ENERGIA SOLAR EM PORTUGAL

### 2.1 Introdução

As sociedades vêm-se, actualmente, assoladas por problemas das mais diversas ordens. O ambiente, a energia e as temáticas paralelas têm ocupado uma posição de destaque no ranking das preocupações mundiais, dado pelo crescente apelo ao desenvolvimento sustentável – conceito cuja notoriedade está associada à publicação do *World Commission on Environment and Development* (WCED) das Nações Unidas (UN), vulgo Relatório de *Brundtland*. Definido como o desenvolvimento que permite satisfazer as necessidades das gerações actuais sem comprometer a satisfação das necessidades das gerações vindouras, reflecte a compatibilização entre o desenvolvimento económico, humano e o ambiente e incute estas preocupações nos diversos agentes e actores da sociedade. Encerra em si a consciência acerca das necessidades e limitações impostas pelo estado da tecnologia e da organização social sobre a capacidade do ambiente para garantir e assegurar as necessidades presentes e futuras (United Nations, 1987).

Um modelo de desenvolvimento energético sustentável que assegure os direitos das gerações presentes e futuras no que toca à equidade de oportunidades de crescimento económico e qualidade de vida consiste num dos grandes desafios que a humanidade enfrenta na actualidade. Por isso mesmo, a nível mundial, os pressupostos do desenvolvimento sustentável impõem uma adequação (senão mesmo uma mudança) do paradigma associado ao sistema energético, bem como aproveitamento dos recursos naturais, determinado, especialmente, pelas questões levantadas pela exploração e carácter limitado dos recursos energéticos assentes em recursos fósseis, que revelam grandes problemas à viabilidade da vida humana no planeta Terra (Grimoni *et al*, 2004).

### 2.2 Enquadramento

A energia enquanto “dado” fundamental que sustenta a vida humana, essência do universo ou como “a medida da capacidade de efectuar trabalho”, é um factor considerado essencial, estratégico, intemporal e de extrema importância na actividade e no bem-estar da humanidade. Questões energéticas têm influenciado o progresso da civilização humana e as políticas governamentais têm tentado assegurar uma melhor gestão dos recursos energéticos. Em termos energéticos pode mesmo fazer-se uma diferenciação entre o grau de desenvolvimento de uma sociedade, bem como a distinção dos países essencialmente produtores e os essencialmente consumidores de energia (Grimoni *et al*, 2004).

Claro está que os modos de vida das sociedades e o seu grau de desenvolvimento exercem uma influência determinante na intensidade de exploração dos recursos como via da satisfação das necessidades humanas (das mais básicas às supérfluas). Cada recurso tem associado um valor que depende da sua utilidade e do valor económico no momento da necessidade da sociedade. Neste sentido, a avaliação, gestão e

monitorização dos recursos naturais constituem factores fundamentais do desenvolvimento humano (Nunes, 1998).

Desde a Revolução Industrial até à actualidade que se presencia, a uma escala global, um aumento generalizado e progressivo da procura de energia e das necessidades energéticas como resultado da industrialização dos processos produtivos dado pelo crescimento económico e populacional vivenciado, essencialmente pelos países em desenvolvimento ou economias emergentes. Se por um lado o aumento da capacidade produtiva fez com que surgissem novas e ilimitadas necessidades (em muito relacionadas com a melhoria da qualidade de vida das populações e com o aumento da esperança média de vida), por outro lado, contribuiu para a sobre exploração dos combustíveis fósseis, aceleração das alterações climáticas e aumento da concentração de gases de efeito de estufa (GEE).

Para além disso, acontecimentos como a crise energética da década de 70 – crise resultante do conflito israelo-árabe onde os países produtores de petróleo do Médio Oriente aumentaram fortemente os preços e limitaram as exportações para certos países europeus – foram determinantes na consciencialização dos problemas associados à política energética europeia (adaptado de UE, 2015).

Assim, dado pelo aumento constante e progressivo quer das necessidades energéticas quer do preço do petróleo (combustível fóssil e base de sustentação energética do sistema convencional), a energia tem-se revelado um problema com múltiplos factores. A juntar aos já mencionados, a dependência energética das sociedades desenvolvidas de hoje é agravada pelo facto do sistema de desenvolvimento evidenciado ser claramente baseado na energia e dessa ser uma dependência face ao exterior. Ou seja, as sociedades do ocidente dependem dos recursos energéticos com base em combustíveis fósseis existentes e explorados pelas sociedades do oriente, na maioria das vezes caracterizados por uma forte instabilidade política, económica e social, com consequências que podem traduzir-se ao nível da segurança e efectivo abastecimento a preços acessíveis a todos os consumidores (Mendiburu, 2009).

As alterações climáticas, entendidas como das maiores ameaças do século XXI, com consequências profundas e transversais nas diversas áreas das sociedades, ocupam igualmente um lugar central no âmbito das preocupações mundiais, dado pelo cariz e génese da temática. Ou seja, apesar de ser um fenómeno global e não reconhecer fronteiras, os impactes são particulares em cada região do planeta. Enquanto fenómeno associado ao aumento do efeito de estufa – dado pela maior concentração GEE do qual o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) é o principal responsável (embora não o único), pelo aumento da temperatura média da superfície terrestre e pelo despoletar de um conjunto de fenómenos climáticos derivados e adversos – está directamente relacionado com alterações ao nível dos padrões climáticos e meteorológicos a longo prazo. Crê-se que, embora com origem em causas naturais, as causas antropogénicas vieram acelerar este processo – uma das consequências nefastas do crescimento económico e da actividade humana no planeta desde a Revolução Industrial até à actualidade.

Como resultado das consequências associadas às alterações climáticas, verificou-se uma maior consciencialização da sociedade para estas questões, com reflexo nas políticas energéticas, mundiais e mesmo nacionais, já que o sector energético é dos que mais contribui, sendo o consumo eléctrico e os transportes os principais responsáveis pela emissão dos GEE (APA, 2007).

Da consciência da limitação dos recursos, da compreensão da problemática das alterações climáticas, do estado que o desenvolvimento experimentado até então deixou o planeta ou mesmo do conhecimento das perdas associadas ao sistema energético, um pouco por todo o mundo, nas mais diversas organizações, instituições e congregação de países foram adoptados compromissos no sentido da redução da dependência face ao recurso energético petróleo e das emissões dos GEE. O Protocolo de Quioto, foi, no cerne da União Europeia (UE) um grande exemplo nesse sentido, no qual cada um dos membros viu-se comprometido, entre outros aspectos, com um valor específico na sua quota de redução de emissões.

Uma vez que as energias renováveis estão relacionadas com o desafio associado ao seu aproveitamento para geração de energia, nomeadamente a electricidade, de forma a tentar dar resposta à procura existente mantendo o critério da menor repercussão de ameaças para os ecossistemas, sustentando a aposta descentralizada da produção de energia, a aposta em FER – *“fontes de energia não fósseis renováveis (energia eólica, solar, geotérmica, das ondas, das marés, hidráulica, de biomassa, de gases dos aterros, de gases das instalações de tratamento de lixo e do biogás)”* continuamente *“disponibilizadas”* pela natureza (Directiva 2001/77/CE de 27 de Setembro) – surge, portanto, como solução para suprir as já tão extensas necessidades energéticas em termos de satisfação das necessidades mais básicas da população mundial em crescimento acentuado e de modo a salvaguardar o que ainda resta do ambiente dito natural (Grimoni *et al.*, 2004; WNA, 2012).

Por isso mesmo, a UE tem orientado a sua política energética para a redução da dependência energética face às FENR e ao exterior, através duma aposta ou regime de incentivos à aposta de produção de electricidade a partir da FER cuja disponibilidade no estado membro permita a sua exploração. Portugal, país essencialmente consumidor de energia proveniente de recursos fósseis, nomeadamente do petróleo, apresenta uma forte dependência energética face ao exterior (79,5%), das maiores da UE (53,4% para a UE a 28 países), pese embora a evolução positiva, essencialmente desde 2008 (Eurostat, 2015). A hipossuficiência de Portugal em matéria de produção de electricidade tem-se reflectido num ligeiro decréscimo do consumo de energia primária (situando-se na ordem dos 21474,41 ktep em 2012) e, consequentemente, na diminuição das emissões de GEE – facto que permitiu superar os compromissos assumidos no âmbito do Protocolo de Quioto (DGEG, 2015c).

No entanto, longo é ainda o caminho a percorrer em matéria de compromissos e a incorporação das FER no mix energético nacional surge como a possibilidade para o sucesso duma política energética mais sustentável e eficaz, já que a aposta na produção de electricidade com base em FER tem repercussões positivas na economia e no meio ambiente, *“evidenciados pela relevância da factura energética no défice*



*externo, pelas possibilidades de poupança nesta factura e pelo efeito da política energética no crescimento do PIB e na criação de emprego” (Moura e Sá, 2010).*

A par das preocupações ambientais e da tão desejada autonomia energética, as limitações em matéria de recursos fósseis e os objectivos da política energética europeia e nacional (segurança no abastecimento, crescimento económico e competitividade e sustentabilidade ambiental) importa referir os compromissos específicos que, Portugal, à semelhança dos seus congéneres Europeus, assumiu em matéria de incorporação de FER, tais como:

- Contribuição das FER com 20% da quantidade total de energia consumida na UE até 2020 – objectivo estabelecido pela UE no Roteiro das Energias Renováveis de 2007 (CCE, 2007);
- Obtenção de economias de energia (definidas como a *“quantidade de energia economizada determinada pela medição e ou estimativa do consumo antes e após a aplicação de uma ou mais medidas de melhoria da eficiência energética, garantindo simultaneamente a normalização das condições externas que afectam o consumo de energia”*) de 9% em 2016 para os estados-membros da UE – Directiva 2006/32/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Abril (DL n.º 319/2009, de 3 de Novembro);
- Definição de um quadro comum de utilização de energias provenientes de FER com o objectivo de limitar as emissões de GEE e promover transportes mais amigos do ambiente, através de planos de acção nacionais e regras de utilização de biocombustíveis, no âmbito da UE – objectivo explanado na Directiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Abril;
- Redução a nível Europeu de 20% da emissão de CO<sub>2</sub>, face aos níveis de 1990, contribuição de um mínimo de 20% de energias renováveis na energia final (cota de 10% para os transportes) e medidas de eficiência energética que viabilizem a redução de 20% do consumo de energia – Pacote Energia-Clima da UE para o horizonte 2020, ou seja, na Directiva 20-20-20 (Moura e Sá, 2010; UE, 2015);
- Redução de *“80% a 95% das emissões de gases com efeito de estufa em relação aos níveis de 1990”* até 2050 – meta assumida na âmbito da UE para a concretização da transição de uma economia competitiva e de baixo carbono (CE, 2011; APA *et al*, 2012);
- Redução do consumo de energia primária na ordem dos 25% e redução específica para a Administração Pública na ordem dos 30% (RCM n.º 20/2013, de 10 de Abril);
- Fixação da meta de 31% para a quota de energias renováveis no consumo final bruto de energia para Portugal a ser atingida em 2020, reflectindo-se em termos sectoriais nos transportes (10%), no aquecimento e arrefecimento (30,6%) e na electricidade (de 55,3%) – Directiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Abril;
- Identificação das medidas e acções previstas para o cumprimento das supramencionadas metas em cada um desses sectores – objectivo assumido no âmbito do PNAER e da Directiva 20-20-20;
- Afirmação da posição de Portugal *“entre os 5 líderes europeus ao nível dos objectivos em matéria de energias renováveis em 2020 e afirmar Portugal na liderança global na fileira industrial das energias renováveis, de forte capacidade exportadora”* – objectivo assumido pelo Governo Português na ENE 2020;

- Compromisso de “60% da electricidade consumida ser obtida a partir de fontes renováveis” – objectivo igualmente assumido no âmbito do PNAER (Moura e Sá, 2010).

A meta europeia tida como 20-20-20 corresponde, na verdade, a uma meta de 20-60-60, ou seja, “*poupança equivalente a 20% do consumo final médio do período 2001-2005; quota de produção renovável equivalente a 60% do consumo bruto de electricidade; e redução de 60% das emissões de CO<sub>2</sub> relativamente a 2005*” (Rede Eléctrica Nacional, 2008). Na Cimeira de Paris, a decorrer no final deste ano, prevê-se que a meta assumida pela UE em matéria de emissões de CO<sub>2</sub> terá um carácter vinculativo e passará de 20 para 40%, reflectindo-se no aumento das exportações no contexto do Mercado Europeu de Electricidade (UE, 2015).

Pese embora a perspectiva positiva, o cumprimento por Portugal das supracitadas metas e compromissos não está garantido nem é consensual. Posto isto, o país deve “*apressar a implementação de medidas que assegurem o uso das energias renováveis numa escala massiva, devendo a tecnologia fotovoltaica ser considerada com a devida atenção*” (Greenpro, 2004). Ora, dada a disponibilidade do recurso (Sol) e a vontade de honrar os compromissos, estas questões continuam certamente a constar da agenda para a política energética nacional. Assim, a confirmar-se a previsão da EPIA – em 2020 cerca de 12% da electricidade da UE provirá dos sistemas fotovoltaicos – Portugal terá de garantir um forte crescimento da capacidade instalada, na ordem dos 45% até 2020, por ano, um total de 6000 MW instalados (Mendes *et al*, 2009; EPIA, 2012).

## 2.3 Energia Solar

A energia solar, responsável pelos processos físicos, químicos e biológicos do planeta Terra, baseia-se no elemento renovável e tido como inesgotável, a radiação solar, presente em todas as áreas do globo terrestre, cuja disponibilidade é condicionada pelos ciclos dia-noite, latitude, estação do ano e condições atmosféricas e meteorológicas (nebulosidade, temperatura e acção dos ventos), variabilidade que determina a necessidade de armazenamento em projectos de larga escala (GTA, 1988; Kalogirou, 2009; IEA, 2014).

O Sol é um dos recursos considerados como ambientalmente sustentável para a produção de electricidade a partir de energia fotovoltaica no qual a radiação solar constitui “o dado” principal de entrada no processo de planeamento (PVGIS, 2012). Embora apenas uma reduzida parte da radiação solar emitida atinja a superfície da Terra – cerca de  $1 \times 10^{18}$  kWh/ano que corresponde a uma quantidade de energia de, aproximadamente, dez mil vezes superior à procura global de energia – esta quantidade é mais que suficiente para suprir a procura energética de toda a humanidade (Greenpro, 2004).

O efeito fotoeléctrico foi introduzido pelo físico francês *Edmond Becquerel* em 1839 e “*consiste no surgimento de uma diferença potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção a luz incidente*”, sendo a célula fotovoltaica a unidade fundamental no processo de conversão (Abreu *et al*, 2010).

O aproveitamento da energia solar para a geração de electricidade – associado a células de óxido de cobre e de selénium – surge com maior afinco em meados dos anos 50, associado à produção das primeiras células fotovoltaicas de silício, pelo *Bell Laboratories* e a utilização destas células pela NASA no Vanguard 1 (Silva, 2004; Kalogirou, 2009). O progresso tecnológico e os ganhos em termos de eficiência revelaram-se numa evolução positiva do mercado da energia solar, associados a produtos de baixa potência e a centrais de alguns MW (Associação e-LEE, 2003).

A energia solar é entendida como uma energia limpa, livre de poluição, que utiliza como ingrediente uma fonte renovável. O desenvolvimento e aproveitamento desta FER requer uma verificação detalhada e temporal do potencial bem como das variações espaciais associadas. Os SIG surgem como meios expeditos para identificar e quantificar os factores que afectam a energia solar disponível e potencial, proporcionando a flexibilidade necessária para enriquecer a base de dados em que as decisões são baseadas, com dados espaciais e restrições adicionais sobre a disponibilidade de recursos (Ramachandra, 2007).

Tem como vantagens associadas o facto de ser pouco poluente, quando comparada com as energias convencionais, fonte de energia segura e inesgotável, assente numa tecnologia cada vez mais fiável e evoluída, com custos sensivelmente mais baixos e com possibilidade constante de aumento do sistema de produção, dada a modularidade que lhe é característica. Como desvantagens podem referir-se a fraca possibilidade de implementação em áreas de muita nebulosidade, custos iniciais consideráveis, produção de energia condicionada ao período diurno e a “poluição dita visual/paisagística”.

A energia solar pode ser diferenciada de acordo com o método e a tecnologia utilizadas para a sua obtenção: directo (fotovoltaico – conversão da potência associada à radiação solar em potência eléctrica através do efeito fotovoltaico) ou indirecto (termosolar – conversão da potência associada à radiação solar para gerar calor o qual produz vapor que posteriormente acciona um gerador eléctrico).

## **2.4 Sistema Solar Fotovoltaico (PV)**

O sistema solar fotovoltaico é entendido como uma das vertentes de aproveitamento da energia solar em electricidade, tido como “um conversor instantâneo”, directo e sem lugar a armazenamento da potência associada à radiação solar em potência eléctrica. A célula fotovoltaica, elemento mais pequeno do sistema fotovoltaico, é constituída por materiais semicondutores, dos quais o silício é um exemplo (CH2M Hill, 2008; Dahle *et al*, 2008; Kalogirou, 2009). Dado o reduzido rendimento associado e o custo, normalmente, elevado dos painéis (embora em quebra abrupta, cujos valores concorrem directamente com os preços do mercado sem recurso a subsídios à tarifa), o sistema de exploração está assente numa óptica de máxima potência disponível ao nível do gerador PV, obtida, geralmente através de uma boa adaptação entre o gerador PV e a carga associada – facto que não se coloca nos casos em que se pretende injectar na rede (Associação e-LEE, 2003).

Os sistemas PV aproveitam a energia solar convertendo a potência associada à radiação solar em potência eléctrica através do efeito fotovoltaico, ou seja, “*transformação directa da luz em energia eléctrica com recurso a células solares*” (Greenpro, 2004). Um módulo ou painel fotovoltaico consiste num número de células solares ligadas electricamente, em série ou em paralelo, encapsuladas e montadas numa estrutura integrada ou isolada (Kalogirou, 2009). A energia solar fotovoltaica está assente numa tecnologia comercialmente disponível e confiável e cada vez mais evoluída, com um potencial significativo de crescimento a longo prazo, sendo uma opção viável para regiões com fraca nebulosidade e grandes quantidades de radiação solar (IEA, 2010).

Os sistemas solares fotovoltaicos são usualmente divididos entre: sistemas ligados à rede, onde toda a energia produzida é injectada na rede (pública) de distribuição de energia eléctrica; sistemas autónomos, onde a capacidade de fornecimento de electricidade depende única e exclusivamente da energia solar, e uma vez que a adequação entre a procura e oferta de energia não é um dado possível de obter a alternativa mais viável é a utilização de acumuladores ou baterias de forma a evitar o desperdício ou perda de energia produzida; e sistemas híbridos, especialmente indicados para situações de necessidade de energia com carácter permanente e de potência elevada, são independentes da rede de distribuição eléctrica e compostos pela combinação gerador fotovoltaico ou a diesel e um aerogerador entre diferentes tipos de FER (Greenpro, 2004; Kalogirou, 2009; Green Rhino Energy Ltd., 2013).

Embora os componentes dos sistemas solares PV variem conforme a aplicação a que se destinam, podem identificar-se, genericamente, os seguintes: as células solares fotovoltaicas, que convertem directamente a energia luminosa em energia eléctrica, normalmente de silício embora possam ser de vários tipos e materiais, cujo rendimento típico e teórico não ultrapassa os 25%; as baterias, que armazenam a energia quando as necessidades não coincidem temporalmente com a incidência solar devem estar devidamente dimensionadas para o correcto funcionamento do sistema, e aplicável apenas em situações de produção solar distribuída ou doméstica, embora no caso dos projectos de média/larga escala possa fazer sentido equacionar outras formas de armazenamento, nomeadamente, a bombagem ou returbinação em barragens, tal como o que se pretende no *The Kidston Project*, em Queensland, Austrália, ainda que acrescente à localização dos projectos PV limitações geológicas e ambientais; os reguladores de carga, cuja função consiste no controlo do fluxo de energia entre o gerador e a bateria, na protecção da bateria contra sobrecargas (solares) e descargas profundas (utilizador) e na garantia da monitorização e segurança da instalação; os conversores que adaptam a potência gerada às necessidades da carga; os inversores, cuja “*principal tarefa consiste em converter o sinal eléctrico DC do gerador fotovoltaico num sinal eléctrico AC, e ajustá-lo para a frequência e o nível de tensão da rede a que está ligado*”; as protecções contra descargas atmosféricas, os disjuntores e os fusíveis (Associação e-LEE, 2003; Greenpro, 2004; Kalogirou, 2009; Boxwell, 2011; Genex Power, 2011; Barnhart *et al*, 2013).

As células PV mais comuns são essencialmente de dois tipos: silício cristalino e *thin films*. As células PV de silício cristalino subdividem-se em duas grandes categorias: silício com cristais monocristalinos (sc-Si) e silício com cristais policristalinos (mc-Si), com eficiências na ordem dos 15% e 12%, respectivamente

(Kalogirou, 2009). Por outro lado, as células PV de *thin films* subdividem-se em três grandes categorias: silício amorfo e micromorfo (a-Si/ $\mu$ c-Si), Telurieto de cádmio (CdTe) e Diselenieto de Cobre e Índio e Diselenieto de Cobre Índio e Gálio (CSI/CSIG), com eficiências na ordem dos 6-9%, 9-11% e 10-12%, respectivamente, valores com tendência a aumentar no período 2015-2020 (IEA, 2010).

Essencialmente desde meados da década de 50 até à actualidade que tem-se efectuado profundos estudos, trabalhos e pesquisas de âmbito científico ao nível dos módulos e inversores para melhorar a eficiência e eficácia, a minimizar as perdas de energia e aumentar a confiança, flexibilidade e modularidade deste sistema produtivo (EC, 2013).

No caso dos sistemas de geração de electricidade a partir de FER, o factor de sucesso em termos de competitividade é o custo do kWh produzido, que depende do investimento, período de vida útil, taxas de juro dos financiamentos, custos de manutenção e da variabilidade impressa pelas condições naturais. Segundo a Associação e-LEE (2003), os fotovoltaicos que utilizam células de silício, são dos sistemas cujo factor rendimento – *“relação entre a energia fornecida pelo sistema de produção durante toda a sua vida útil e a energia consumida para construir esse sistema”* – é dos mais baixos quando comparado com as outras FER, nomeadamente com as grandes hídricas, devido à grande quantidade de energia necessária no fabrico das células de silício (Associação e-LEE, 2003).

Os sistemas fotovoltaicos não necessitam de combustível quando estão em funcionamento e não têm emissões prejudiciais. No entanto, devem ser avaliadas questões que se prendem com o consumo de energia durante o processo de fabrico do equipamento, os fluxos de material e as possibilidades de reciclagem dos materiais (Greenpro, 2004). As vantagens do PV estão associadas às características do recurso (inesgotável, gratuito e não poluente) e do sistema (durável, modular, seguro, alternativa para locais de difícil acesso, com menor desperdício, com o mínimo de manutenção e que permite a descentralização da produção de energia) (SEI, 2004; Kalogirou, 2009). Já as desvantagens estão associadas ao rendimento dos painéis (que apesar do avanço ainda pode ser reduzido quando comparado com outras FER), aos custos de produção dos painéis (em parte ultrapassado pelo recurso às micro e nano tecnologias), à variabilidade da radiação solar e à limitação da produção ao período diurno (SEI, 2004; CETonline, 2012).

Inúmeras são as aplicações possíveis para os sistemas fotovoltaicos de acordo com a potência (pequena ou média) ou escala (micro ou grande), desde os satélites, aos transportes, aos edifícios, à iluminação, a dispositivos portáteis, à electrificação rural ou mesmo a grandes centrais de produção de electricidade (Kalogirou, 2009).

A título de curiosidade, refira-se a tecnologia solar fotovoltaico de concentração (CPV), onde a conversão da radiação solar em energia eléctrica é efectuada com recurso a um sistema ótico (através da reflexão da luz ou da refacção com recurso a lentes de *Fresnel*) que concentra a radiação recebida em cada célula. As células fotovoltaicas são, portanto, de um material diferente das do PV e pode alcançar eficiências na ordem

dos 25-35%, tendo atingido em 2014 o record mundial de 44% de eficiência em laboratório (A.T. Kearney *et al*, 2012; IEA, 2014). É um sistema especialmente indicado para locais com pouca ou nenhuma nebulosidade, com muito sol e níveis de radiação directa altos. Para além disso, crê-se que o CPV pode ser uma boa opção para locais com climas quentes dada a sua performance energética quando sujeito a temperaturas elevadas (Dahle *et al*, 2008).

O PV e o CPV, enquanto tecnologias de energia solar, com as suas vantagens e desvantagens devidamente identificadas, têm as suas características próprias e, portanto, as suas aplicações óptimas. O desafio consiste na escolha da tecnologia mais indicada para determinada aplicação ou localização específica.

## 2.5 Panorama Solar Nacional

Dada a escassez de recursos fósseis (petróleo, carvão e gás), a elevada dependência energética face ao exterior, os compromissos assumidos em termos de redução de emissões do GEE, as metas fixadas para produção de energia com base em FER e a comprovada disponibilidade de recursos energéticos renováveis, nomeadamente solares, Portugal, à semelhança dos restantes países europeus, tem investido na incorporação das FER na produção de electricidade, ocupando, no seio da UE a 4ª melhor posição (com 94,8% em 2012) em matéria de contribuição das energias renováveis na produção primária de energia (DGEG, 2014; Pordata, 2014a).

Portugal dependente energeticamente do exterior, é um país essencialmente consumidor de energia, com um saldo importador na ordem dos 18 259 ktep, com consumos de energia primária na ordem dos 21 474 ktep e emissões totais na ordem dos 70 Mton de CO<sub>2</sub> – valores para o ano de 2013 que reflectem a tendência generalizada de aproximação aos de 1990 (DGEG, 2015c). De acordo com a figura 1, apesar da forte dependência face ao petróleo (na ordem dos 43,27% em 2012), presencia-se uma diminuição do peso do petróleo face a uma evolução positiva do peso das renováveis (20,85%) no consumo de energia primária em Portugal.

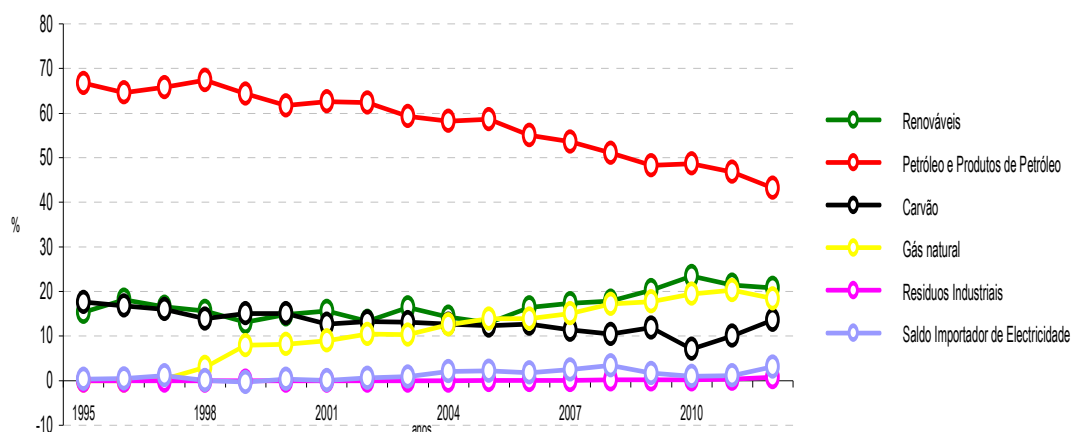


Figura 1 – Evolução do consumo total de energia primária para Portugal, no período entre 1995 e 2012 (%)  
Fonte: DGEG, 2015c

Tendo em conta a existência e disponibilidade de recursos endógenos renováveis, os quais passíveis de integração na produção de electricidade, era expectável que Portugal estivesse já a tirar partido dessa potencialidade através da exploração massiva e inquestionável desses mesmos recursos. No entanto, da análise da evolução da exploração dos recursos renováveis em Portugal (figura 2) é possível verificar que, apesar da reconhecida importância e necessidade de aposta nas FER, até 2005, o peso destas no mix energético nacional regista um percurso sinuoso (ou mesmo de incentivo versus desincentivo), cujos valores mais altos, nomeadamente os de 2003 (36%), devem-se a uma grande produção hídrica e cujos *“investimentos em FER entre 1997 e 2003 não foram sequer suficientes para acompanhar o crescimento do consumo eléctrico no mesmo período”* (Proença, 2007; Pordata, 2014b). Já de 2006 em diante o panorama é de evolução gradual positiva, registando-se em 2013 valores na ordem dos 66,3% de produção de electricidade tendo por base as FER. Realce ainda para as fortes quebras de produção nos anos de 2005 e 2012 justificadas pelos episódios de seca verificados nesses anos (DGEG, 2014).

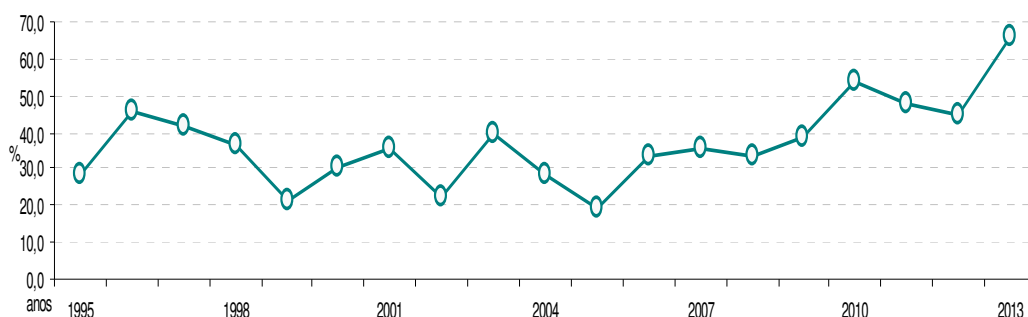


Figura 2 – Evolução da produção de energia eléctrica a partir de FER, para Portugal, no período 1995-2013 (%)  
Fonte: Pordata, 2014b

A produção de electricidade a partir das FER em Portugal deve-se, desde 1995 até à actualidade, essencialmente à grande hídrica, apesar da forte mas recente aposta na eólica, conforme o explanado no PNAER (figura 3). Portugal regista em 2013 uma produção total de energia eléctrica na ordem dos 46 614 GWh, dos quais 66,3% têm por base as FER, essencialmente a hídrica de grande potência (cerca de 50%) e a energia eólica (cerca de 40%). Em termos solares, de realçar a pequena importância que a fonte fotovoltaica ocupa no seio da produção energética renovável do país (1,6%), apesar de dispor dos mais elevados níveis de insolação da Europa.

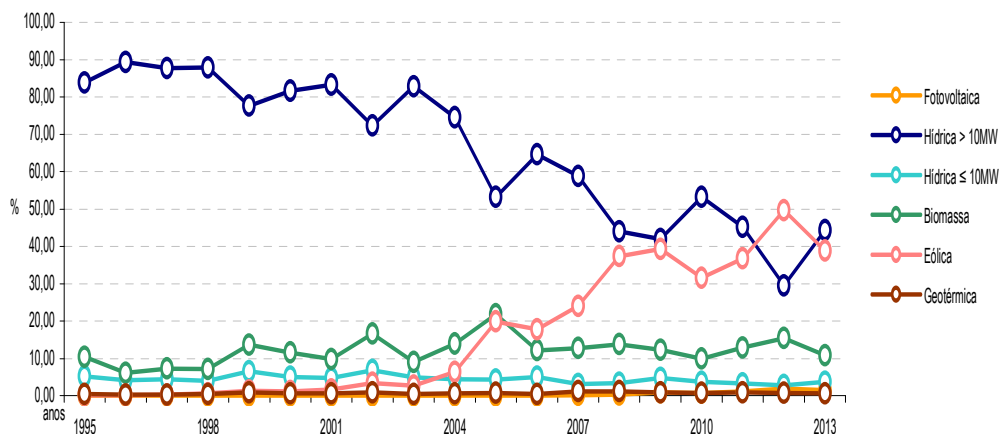


Figura 3 – Evolução da produção de energia eléctrica a partir de FER, por tipo de fonte, em Portugal, 1995 – 2013 (%)  
Fonte: DGEG, 2015a

Numa altura em que as FER representam já mais de metade da potência instalada em Portugal (57,65%), a energia hídrica de grande potência (superior a 10MW) e a eólica (essencialmente a partir de 2004) são das que mais contribuem para este marco, contabilizando em 2013 5165 MW e 4731 MW, respectivamente – facto que reflecte o acima exposto (figura 4). Em matéria de energia solar fotovoltaica, apesar do aumento exponencial, principalmente a partir de 2009, esta continua a ser a FER com menos peso em Portugal, representando 1,55% em termos de produção de energia e 2,64% em termos de potência instalada no total das renováveis (DGEG, 2015b).

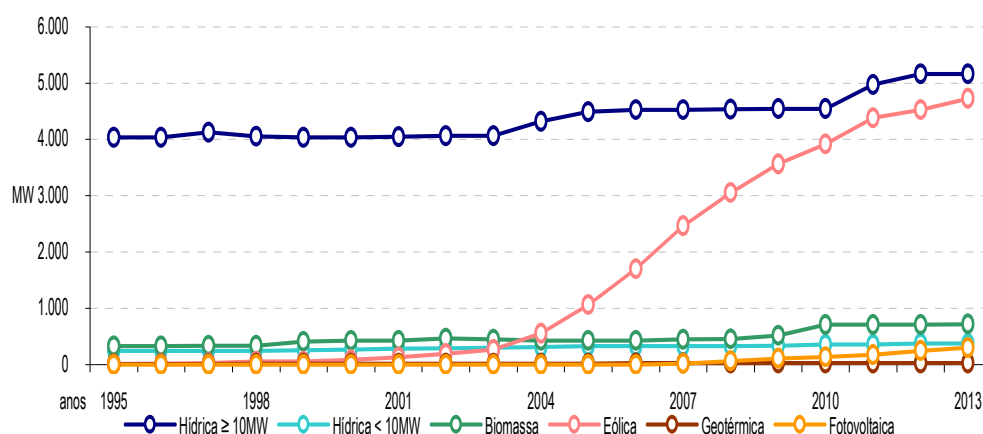


Figura 4 – Evolução da Potência instalada nas centrais de produção de energia eléctrica a partir de FER, em Portugal, para o período 1995-2013  
Fonte: DGEG, 2015b

Em 2015, estão em funcionamento, desde 2006, 21 projectos solares fotovoltaicos com uma potência instalada que varia entre os 0,4 e os 45,8 MW, dos quais 14 se situam na região do Alentejo, especificamente nos Distritos de Beja e Évora, 13 e 1, respectivamente (E2P, 2015). Estes dados reforçam o panorama nacional português em matéria de FER: apesar da disponibilidade de recursos renováveis e das vantagens comparativas daí advindas em termos de *mix* energético nacional, ainda existem uma forte potencialidade por explorar. Não basta ter os recursos, é necessário, senão imprescindível torná-los uma oportunidade, explorando-os na conta certa. É como ter petróleo e não o aproveitar.

Neste contexto, a energia solar surge como a *“tecnologia com maior potencial de desenvolvimento em Portugal durante a próxima década”* (RCM n.º 29/2010, de 15 de Abril). Ainda assim, apesar dos objectivos inicialmente propostos, o PNAER 2020 – que inclui uma revisão dos objectivos para Portugal no respeito pelas metas e compromissos assumidos e de acordo com a escalabilidade, eficiência e atractividade económica de cada uma das FER – vem reduzir a estimativa da potência a instalar em matéria de solar fotovoltaico até 2020 de 1000MW para 720MW, reflectindo-se numa produção de energia esperada de 1139 GWh, pese embora as perspectivas de redução acentuada do custo de instalação e investimento face à maturidade tecnológica que esta FER representa (APREN, 2012; RCM n.º 20/2013, de 10 de Abril).



## 2.6 Potencial Solar de Portugal

*“Na sua generalidade, em todo o território Português existe um elevado potencial que permite a exploração de recursos energéticos renováveis. No caso da tecnologia fotovoltaica, observa-se uma forte contradição entre o potencial deste País e a nula produção actual de electricidade a partir de sistemas ligados à rede pública”* (Greenpro, 2004). Esta citação espelha o panorama solar fotovoltaico português, pois apesar dos projectos solares existentes ligados à rede (os quais entraram em funcionamento, essencialmente, a partir de 2006), o potencial surge ainda subaproveitado.

O potencial solar de Portugal está intrinsecamente relacionado com a sua posição geográfica – justamente com a latitude, que influencia a intensidade e o ritmo de insolação recebida –, com as suas condições meteorológicas e / ou climáticas e, consequentemente, com a quantidade de radiação solar recebida (Brito, 1994; Ramos *et al*, 1999; Daveau, 2000). Portugal, situado na zona subtropical do hemisfério Norte, entre as latitudes 37° e 42°, na faixa de encontro entre o Oceano Atlântico e o Continente Europeu, apresenta, portanto, condições inatas e propícias à utilização do recurso solar para geração de energia, expresso através dos valores de insolação e radiação registados (Daveau, 2000).

Tendo em conta a importância do conhecimento da variação e intensidade do recurso solar para a avaliação do potencial solar fotovoltaico e correspondente dimensionamento destes sistemas, afigura-se como necessário e imprescindível averiguar os níveis de insolação de Portugal – entendida de forma muito simplista como o “*número de horas de sol descoberto acima do horizonte*” e/ou “*radiação solar incidente*” – (Azevedo *et al*, 1987). Portugal possui das melhores condições para aproveitamento do recurso solar da Europa, com uma disponibilidade anual que varia entre as 1800 e as 3200 horas de sol descoberto acima do horizonte (figura 5).

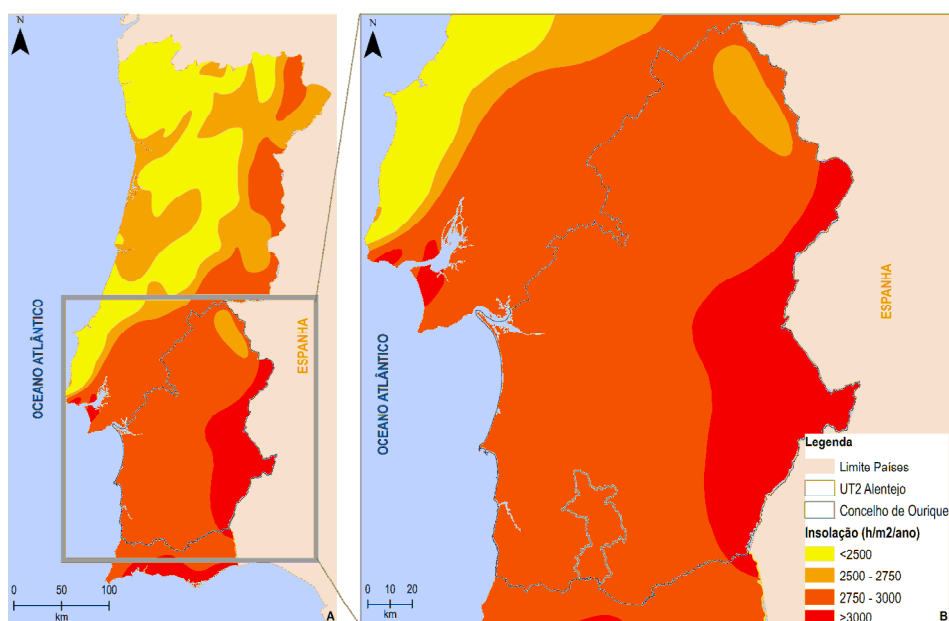


Figura 5 – Insolação, valores médios anuais no período 1931-1960: A – Portugal Continental; B: Região do Alentejo  
Fonte: APA, 1974

À escala do país, os valores da insolação aumentam, essencialmente, de Norte para Sul – devido ao clima e ao “*resultado do desigual ângulo que os raios solares fazem relativamente ao solo, menor no norte e maior no sul*” –, à medida que a altitude diminui e de Oeste para Leste – devido à diminuição dos níveis de nebulosidade (Azevedo *et al*, 1987; Ramos *et al*, 1999; Daveau, 2000). O Litoral Algarvio, a Península de Setúbal, a Costa do Estoril e o Interior Alentejano correspondem às áreas que registam os valores mais elevados de insolação, com locais que chegam a atingir as 3200h/m<sup>2</sup>/ano.

A aferição do potencial de aproveitamento solar está igualmente dependente da radiação solar global (dado principal de entrada na produção de energia ou electricidade), entendida como o total de energia emitida pelo Sol que atinge a Terra sob a forma de radiação, sendo propagada através de ondas electromagnéticas com diferentes comprimentos e frequências (GTA, 1988; AMS GLOSSARY, 2013). A radiação solar é influenciada por três grandes grupos de factores: 1 – os relacionados com a geometria da Terra, onde se inclui a distância entre o Sol e a Terra e os efeitos de rotação e translação da Terra; 2 – os relacionados com a superfície terrestre, tais como a altitude, topografia, orientação e sombreamentos; e 3 – os relacionados com a atmosfera, nomeadamente os fenómenos de reflexão, absorção e dispersão que ocorrem na atmosfera (Hofierka *et al*, 2002). A radiação solar global inclui a radiação solar directa, ou seja, a energia que provem do sol e atinge a superfície terrestre sem qualquer influência na sua direcção ou modificação pela atmosfera e a radiação solar difusa, isto é, a energia que é difundida pela atmosfera e pelas nuvens, incluindo a radiação reflectida pela superfície terrestre (figura 6) (Greenpro, 2004; SolarGIS, 2015).

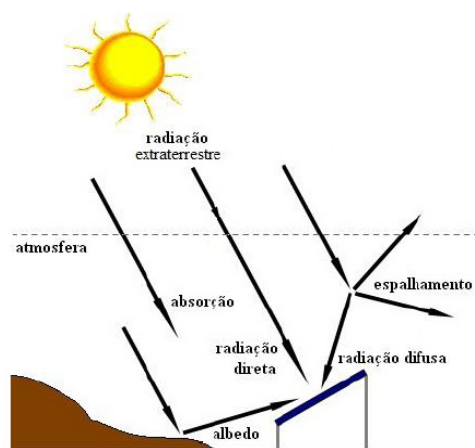


Figura 6 – Componentes da Radiação Solar  
Fonte: Pinho *et al*, 2008

A instalação dum sistema solar fotovoltaico depende, essencialmente, dos valores de radiação solar global, isto é, da quantidade de radiação recebida numa superfície horizontal (3TIER, 2015). Assim, tendo em atenção que a radiação solar global surge como o parâmetro mais importante na aferição do rendimento do sistema solar fotovoltaico, que a radiação directa é, normalmente, a maior componente da radiação solar global seguida da difusa, o conhecimento dos valores das três radiações assume-se como essencial pois contribui para uma noção mais acertada do potencial de produção associada à energia solar (GTES, 2014). Diversas são as fontes, aplicações e organismos que disponibilizam à comunidade (científica, profissionais, curiosos), através da internet, em formatos de visualização assente ou compatível com as tecnologias SIG,

de forma fácil, simplificada e gratuita (ou paga, quando se trata de informação com maior resolução, rigor, actualização e qualidade) a possibilidade de consulta de variáveis que influenciam a produtividade solar, nomeadamente a radiação solar, de acordo com a localização espacial, seja ela uma região, cidade ou mesmo um edifício (Clifton *et al*, 2010).

Numa tentativa de analisar a radiação solar em Portugal dentro do contexto europeu, optou-se por recorrer ao *Photovoltaic Geographical Information System* (PVGIS) por ser uma fonte institucional que disponibiliza dados e informações gratuitas com um bom grau de actualização, relevância e qualidade. O PVGIS é um projecto que desenvolve uma base de dados de informação geográfica sobre factores técnicos, ambientais e socioeconómicos que influenciam a geração de electricidade por meio solar, para a Europa, África e Sudoeste da Ásia, tido como um *“instrumento de pesquisa, inventário, demonstração e política baseado em mapas de recursos de energia solar, que funciona como suporte para avaliação do potencial de sistemas de geração de electricidade a partir de energia solar, mais especificamente sistemas fotovoltaicos”* (Tradução livre PVGIS, 2015).

Assim, à semelhança de Espanha, Itália e Grécia, os valores de radiação solar global registados em Portugal são claramente favoráveis face a outras localizações no seio da União Europeia a 25 países (UE25) para a exploração fotovoltaica (figura 7). Portugal, especialmente o Sul do país, regista valores de radiação solar global superiores a 1650 kWh/m<sup>2</sup>, o que corresponde a uma produção solar fotovoltaica superior a 2200 kWh/kWp, para o período de 1998-2011 (PVGIS, 2015). Os valores de radiação solar global mais reduzidos localizam-se no norte do país (Alto Minho) enquanto que os valores mais elevados registam-se no Litoral Algarvio, como resultado do *“efeito da nebulosidade, que aumenta de Sul para Norte e do interior para a costa”* (GTA, 1988).

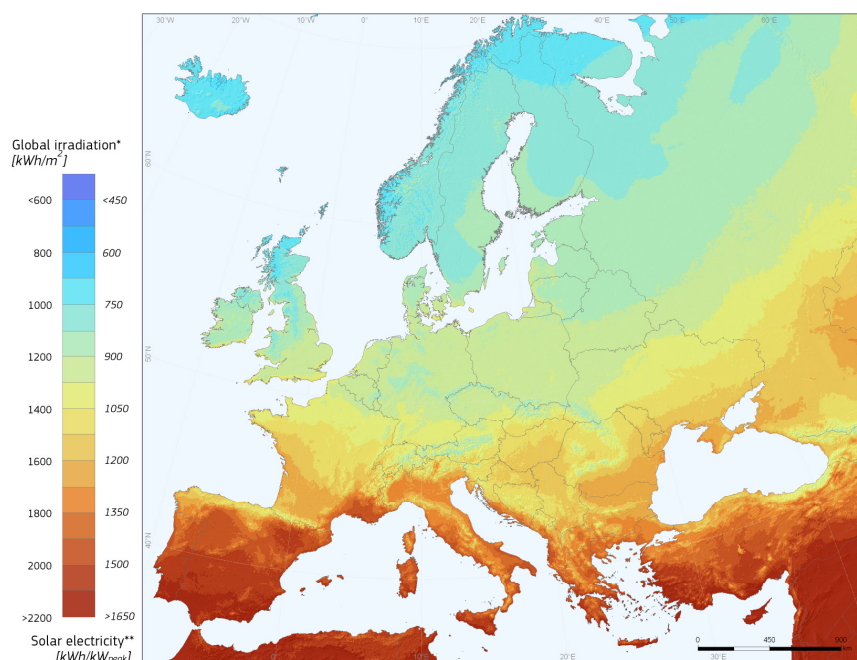


Figura 7 – Média anual da radiação solar global para uma superfície horizontal e optimamente inclinada e potencial de electricidade solar para uma inclinação óptima, para a Europa, no período 1998-2011  
Fonte: PVGIS, 2015

Apesar das variações regionais, Portugal, apenas antecedido pelo Chipre e por Malta, é o terceiro país com uma média anual de radiação global numa superfície horizontal e optimamente inclinada mais alta no seio da UE25, totalizando 1731 kWh/m<sup>2</sup> para o período 2001-2012, traduzindo-se numa média de 1299 kWh/kWp de potencial de produção de electricidade solar (entendido como o equivalente ao número de horas anuais em funcionamento à potência nominal), admitindo que o sistema tem uma taxa de desempenho na ordem dos 0,75 (Šúri *et al*, 2007; Huld *et al*, 2012). Para além disso, a radiação solar global em Portugal varia, também, com a estação do ano, concentrando os níveis mais elevados no Verão (Julho) e os mais baixos no Inverno (Dezembro) (GTA, 1988).

## 2.7 Região do Alentejo

A região do Alentejo inclui, em termos administrativos e territoriais, as NUT's III Alto Alentejo, Baixo Alentejo, Alentejo Central e do Alentejo Litoral e é constituída por 47 concelhos (figura 8). O Alentejo corresponde a cerca de 1/3 (31 604,91 km<sup>2</sup>) da área de Portugal Continental, com cerca de 86 km<sup>2</sup> de área urbana e uma população de aproximadamente 509 741 habitantes (INE, 2011b).

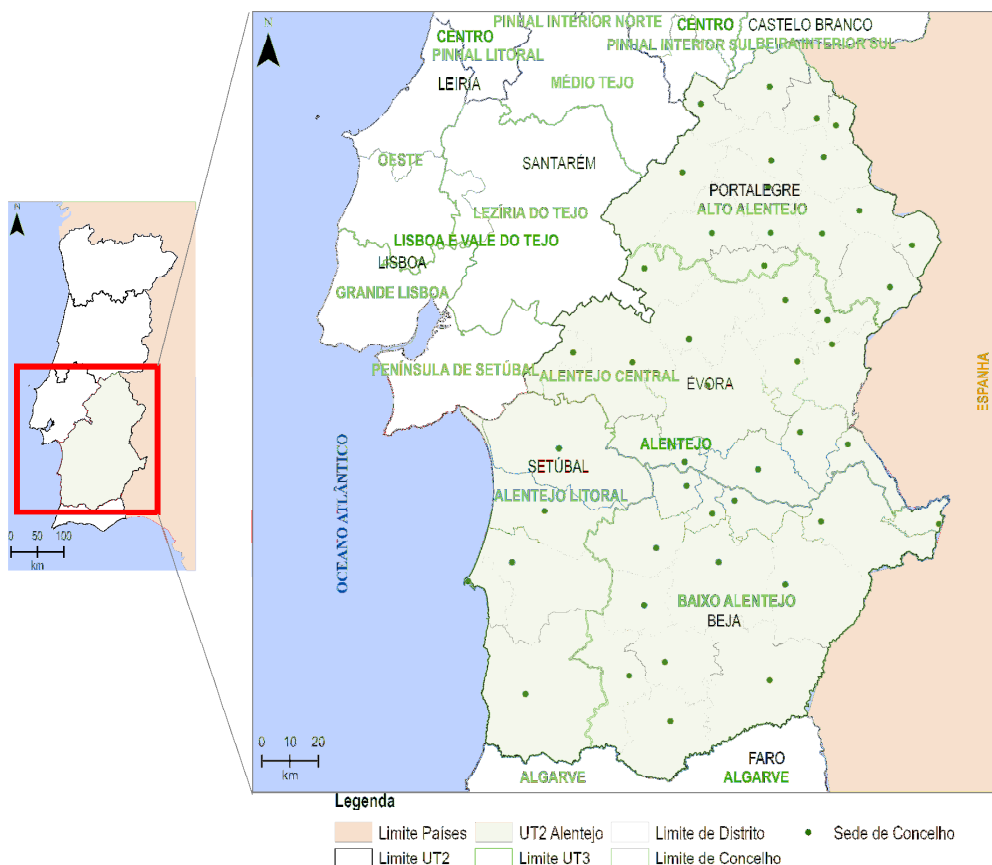


Figura 8 – Enquadramento territorial do Alentejo  
Fonte: DGT, 2014a

É um território pouco povoado, considerado de baixa densidade – registando em 2011 uma densidade populacional (das mais baixas do país) de 24 hab./km<sup>2</sup> – como resultado dum “ordenamento territorial orientado pelas especificidades históricas de uma agricultura extensiva e pouco propícia à concentração populacional” (CCDRA, 2008; INE, 2011b). É caracterizado por um sistema urbano estruturada nas sedes de

concelho, por um forte envelhecimento da população, boas acessibilidades face à capital e à vizinha Espanha e com um património arquitectónico, paisagístico e ambiental invejável, onde o sector terciário assume principal destaque (CCDRA, 2008).

*“Beneficiando do elevado número de horas de exposição ao sol, do relevo significativamente plano e da capacidade da rede eléctrica para integrar a energia solar, o Alentejo é uma região excelente para a implantação de centrais solares fotovoltaicas”* (Carvalho, 2009).

Tendo em consideração que 1 kWh/m<sup>2</sup> corresponde à radiação solar que atinge a superfície terrestre, num dia de céu limpo; que para os projectos fotovoltaicos é admitido um valor mínimo de radiação solar global na ordem dos 3-4 kWh/m<sup>2</sup> por dia, ao registar um valor na ordem dos 3 kWh/m<sup>2</sup> por dia, no mês de Fevereiro de 2015 – estação do ano que concentra os níveis de radiação menos significativos em Portugal – o Alentejo é, no seio do país, das regiões mais propícias para o aproveitamento da energia solar (GTES, 2014; IPMA, 2015a). Fazendo jus ao supramencionado: *“O Alentejo não tem sombra senão a que o céu dá...”* (Ribeiro, 1998).

Um pouco à semelhança do panorama nacional, na região do Alentejo, e em termos de produção bruta de electricidade a partir de fontes renováveis, em 2012, o solar fotovoltaico ocupa uma posição residual, sendo a maior contribuição dada pela térmica (combustíveis fósseis), seguida da hídrica e eólica, enquanto fontes energéticas. À escala do fotovoltaico, a região é a que mais contribui para a produção nacional (76,3%), e no seio desta, o Baixo Alentejo é a NUT que contribui quase exclusivamente (99,9%) (INE, 2013). Ocupa, pois, uma posição de destaque a nível nacional, quer em matéria de produção fotovoltaica – já que concentra 39% da produção nacional em 2014, registando 240 GWh contra os 614 GWh registados em Portugal; quer em matéria de potência instalada – pois, no mesmo período temporal, regista 120 MW do total de 346 MW de Portugal (tabela 1); e, consequentemente, em número de horas equivalentes de produção, na ordem das 2000 horas, para 2013 (DGEG, 2014).

	Energia Eléctrica – Fotovoltaico			
	Produção (GWh)		Potência Instalada (MW)	
	2007	2014Out <sup>1</sup>	2007	2014Out
Portugal	24	614	15	346
Continente	20	565	11	319
Norte	0	67	0	46
Centro	0	97	0	63
Lisboa	0	89	0	50
Alentejo	20	240	11	120
Algarve	0	72	0	39
R.A. Açores	0	0	0	0
R.A. Madeira	0	38	0	23
Não especificado	4	11	3	3

<sup>1</sup> Ano-móvel: Novembro de 2013 a Outubro de 2014

Tabela 1 – Energia Eléctrica Fotovoltaica, Produção em GWh e Potência Instalada em MW, em Portugal e por Região, para os anos de 2007 e 2014

Fonte: DGEG, 2014

A corroborada notoriedade do Alentejo ao nível fotovoltaico reflecte-se, portanto, no número de centrais solares fotovoltaicas instaladas na região: 31 com uma potência nominal total de 120,46 MW, representando 67% do total nacional (CCDRA, 2014). Destas destaque para as já implantadas (entre os quais duas são consideradas as maiores centrais solares do Mundo) ou ainda em fase de iniciativa: a AMPER Central Solar SA na Amareleja (Concelho de Moura); a Parque Fotovoltaico Hércules SA em Brinches (Concelho de Serpa); a GENERG em Ferreira do Alentejo e em Évora; os Ventos da Serra em Ferreira do Alentejo; as centrais de Sol Poente e Pão e Água em Mértola e o Parque Solar Interior Alentejano em Ourique (Carvalho, 2009).

Em termos de consumos de electricidade, a região do Alentejo, regista valores na ordem dos 4326 GWh, em 2012, (representando 9,5% do total nacional – 45570 GWh). Tal como verificado a nível nacional, o sector doméstico concentra o maior número de consumidores (82,2% do total da região) e os sectores industrial, doméstico, e não doméstico (que inclui o comércio e serviços) polarizam os consumos (42,8, 22,4 e 21,1% respectivamente) (DGEG, 2013; DGEG, 2015d).

	Consumidores por tipo (n.º)	Consumo de Energia Eléctrica por tipo (kWh)
Agricultura (Normal)	15.467	300.463.629
Aquecimento c/ Contador Pp	-	71.414
Doméstico Normais	<b>395.081</b>	<b>968.688.190</b>
Edifícios do Estado	-	156.555.818
Iluminação Vias Públicas	6.009	127.572.833
Indústria (Normal)	8.227	<b>1.851.682.490</b>
Indústria (Sazonal)	-	1.960.417
Não Doméstico	56.097	<b>911.289.086</b>
Tracção	0	7.519.350
Total	480.881	4.325.803.227

Tabela 2 – Número de Consumidores e Consumo de Energia Eléctrica, por tipo em n.º e kWh, respectivamente, para a região do Alentejo, no ano de 2012  
Fonte: DGEG, 2013; DGEG, 2015d

O Alentejo reúne as condições de excelência no que toca à energia solar, facto que deve motivar um esforço regional dos diversos stakeholders (técnicos, empresários, autarcas e peritos) no desenvolvimento e consolidação de parcerias estratégicas para a materialização de um cluster primordial de nível nacional, ibérico e internacional na região ou mesmo *“para ser um living lab para o desenvolvimento e teste de novas soluções de produção de energia a partir do sol”*, nomeadamente com a Lógica, Sociedade Gestora do Parque Tecnológico de Moura, E.M. e o futuro Centro Ibérico de Energias Renováveis a ser instalado em Badajoz, que trará maior protagonismo face à proximidade geográfica de Badajoz e à cooperação já existente entre diversas instituições (RCM n.º 53/2010, de 2 de Agosto; CCDRA, 2014).

Especificamente ao nível do PROTA é defendida a aposta na sustentabilidade energética da região do Alentejo explanada, nomeadamente e para a tipologia de energia em análise, através do reconhecimento das vantagens associadas à energia solar fotovoltaica, que ao permitir uma descentralização da produção

está mais adequada às características do povoamento da região, numa altura em que *“a energia solar posiciona-se como a tecnologia com maior potencial de desenvolvimento em Portugal durante a próxima década”* (MEID, 2010).

## **2.8 Conclusões do capítulo**

A afirmação das FER carece de mais investigação e investimento no que toca aos sistemas de armazenamento de energia (storage), de forma a reforçar a componente de energias renováveis no mix energético europeu (IEA, 2014). Partindo do princípio que, a médio / longo prazo, a energia fotovoltaica irá desempenhar um papel importante na UE – contribuindo para os objectivos das políticas energéticas de baixo carbono, baixas emissões e economias verdes – a difusão de projectos solares fotovoltaicos irá certamente contribuir para rápidos e melhores desenvolvimentos da tecnologia, com ganhos de competitividade ao nível dos dispositivos / equipamentos e ao nível da eficiência e da sustentabilidade da infra-estrutura energética que se pretende global (EC, 2013).

Para além disso, tendo em conta a previsão de crescente procura de energias renováveis, quer pela limitação de oferta de combustíveis fósseis, quer por razões ambientais, a aposta da região do Alentejo nas energias solares fotovoltaicas pode constituir uma oportunidade com forte potencial de inovação tecnológica, com vantagens decorrentes da produção descentralizada mais adequada ao sistema de povoamento em questão e com capacidade de integração na rede eléctrica permitindo igualmente colmatar algumas falhas de mercado. Pelas suas características intrínsecas (um dos mais altos níveis de insolação e radiação da Europa e de Portugal, disponibilidade de espaço não edificado ou utilizado e percurso e experiência científica e tecnologia em matéria solar), o Alentejo constitui por si só um dos grandes “factores” que contribuem ou deviam contribuir seguramente para a aposta na energia solar fotovoltaica em Portugal (Carvalho, 2009; CCDRA, 2014).

### 3. FACTORES E CONDICIONANTES NA INSTALAÇÃO DE CENTRAIS

#### FOTOVOLTAICAS

##### 3.1 Introdução

Os sistemas de geração de energia a partir de FER, no qual se incluem as centrais fotovoltaicas, utilizam recursos com capacidade natural para se auto-regenerar de forma constante, tendo geralmente associados níveis de poluição mais baixos do que os registados nos sistemas convencionais. Para avaliar o potencial das energias renováveis como fontes de geração de energia passível de transformação em energia eléctrica é necessário avaliar e relacionar a disponibilidade de recursos em termos espaciais, temporais e técnicos. Por isso mesmo, torna-se inevitável verificar a viabilidade da instalação, neste caso dada pela identificação, *à posteriori*, das principais premissas que influenciam a produtividade e condicionam a instalação física e burocrática duma central PV.

Várias podem ser as estratégias de abordagem ao tema da aptidão territorial fotovoltaica, no entanto, a seguir, na figura 9, aparece representada a árvore de decisão em matéria de instalação fotovoltaica adoptada e sugerida pelo US EPA *et al* (2013). Nesta abordagem, as instalações fotovoltaicas são vistas como um processo de investimento estruturado por 3 fases: 1. Pré-selecção, que inclui a aferição técnica da existência de condições para a instalação de projectos solares fotovoltaicos, numa óptica de análise do recurso e das condições técnicas do mesmo, que no fundo corresponde à caracterização e verificação das condições ou factores de produtividade do sistema fotovoltaico (radiação solar, espaço disponível, distância à linhas eléctricas, análise topográfica) e às condicionantes territoriais (numa óptica de prioridades de desenvolvimento e de identificação das áreas de exclusão), com recurso às tecnologias SIG; 2. Selecção do local, que inclui uma análise e investigação de informação acerca do local para a implantação, incluindo informação e aceitação por parte dos proprietários (seja do terreno ou do edifício, que condiciona o tipo de instalação) e uma análise energética em termos de custos com a electricidade e as necessidades energéticas; e por último uma 3. Selecção Financeira, que inclui considerações acerca das políticas energéticas e incentivos financeiros que influenciam o retorno do investimento bem como os custos de instalação (US EPA *et al*, 2013).

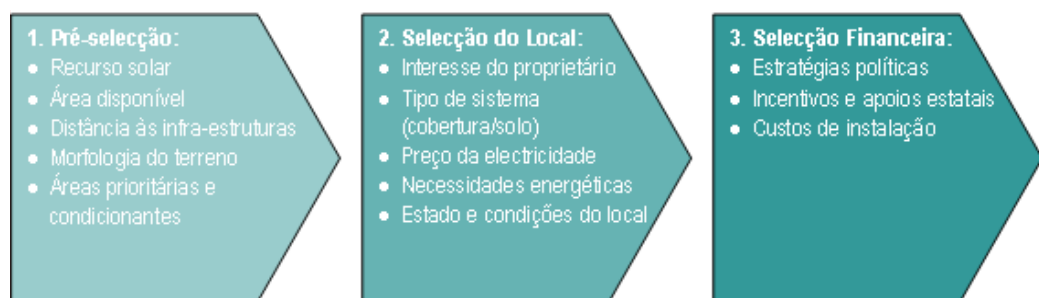


Figura 9 – Esquema de decisão em termos de energia solar  
Fonte: Tradução livre de US EPA *et al*, 2013



### 3.2 Factores de Produtividade

Dadas as diversas aplicações, materiais, módulos, componentes e características que um sistema fotovoltaico pode ter (abordadas de certa maneira no capítulo anterior) importa agora especificar o objecto de estudo. O estudo da avaliação da aptidão solar fotovoltaica a desenvolver neste trabalho de projecto pretende incidir unicamente nas centrais solares fotovoltaicas de grande dimensão, para produção, consumo e / ou venda de electricidade, a instalar fora das áreas urbanas. Pese embora as técnicas e tecnologias cada vez mais avançadas, quer nas células quer nos materiais fotovoltaicos, assume-se neste estudo uma lógica mais conservadora, pois admite-se o posicionamento fixo dos módulos, sem menção ou discriminação do tipo de material e componentes dos painéis, da potência e da área necessária à instalação dum projecto desta dimensão.

Apesar da evolução percebida no sector do fotovoltaico, em matéria de rendimentos, eficiência e produção de energia eléctrica e das características e adequabilidade de Portugal face a projectos desta natureza, pelo volume de investimento, valores de retorno esperados e impactos que estes projectos causam nos territórios e na vida das pessoas, numa óptica de optimização de recursos, admite-se que estes projectos devem instalar-se nas áreas tidas como mais aptas e adequadas numa lógica de máximo rendimento do sistema e minimização das perdas de produção, portanto, de acordo com os critérios de produtividade que influenciam o sistema fotovoltaico.

Ainda que muitos sejam do senso comum, os factores que condicionam a produtividade do sistema solar fotovoltaico resultam da pesquisa bibliográfica efectuada explicitamente para este trabalho e são os seguintes:

- **Formato, inclinação e movimento da Terra:**

O formato da Terra (esfera imperfeita relativamente achatada nos pólos cuja superfície é heterogénea), a inclinação do eixo da Terra (na ordem dos  $23,45^\circ$  em relação à sua perpendicular no plano orbital) e os movimentos que este planeta descreve sobre o seu eixo (rotação) e em torno do Sol (translação), ao serem responsáveis pelas diferentes estações do ano e pelas diferenças registadas ao longo do dia (figura 10, onde  $n$  é o número de dias e  $\delta$  representa o ângulo de declinação), condicionam fortemente a quantidade, intensidade e duração de energia recebida pela superfície terrestre em determinados locais ao longo do ano, com repercussões ao nível da radiação solar, insolação, orientação e inclinação dos painéis PV (Daveau, 2000; GTES, 2014; DG-GSU, 2015).

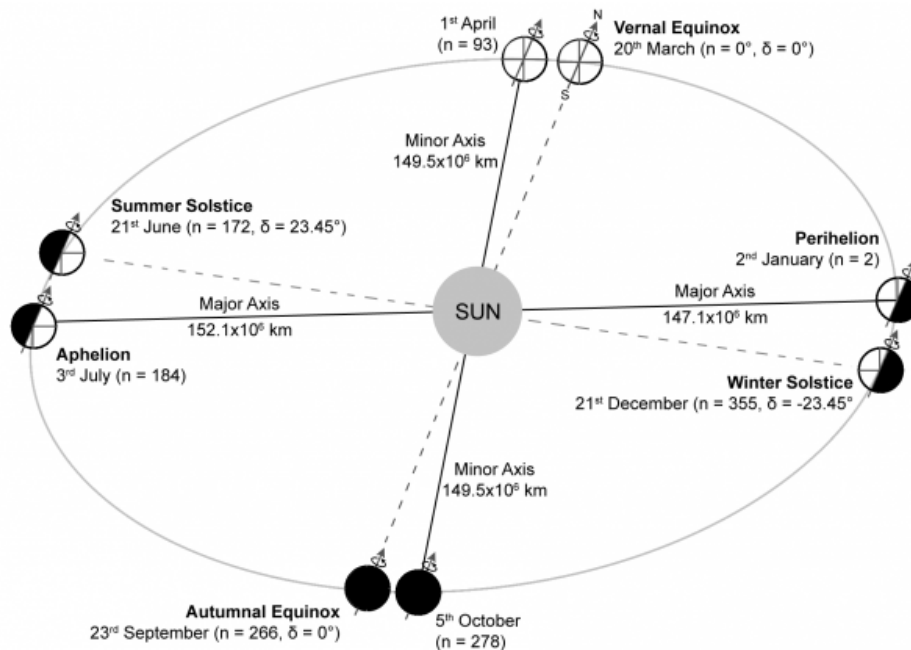


Figura 10 – Órbita da Terra em torno do Sol  
Fonte: ITACA, 2015

#### • Insolação e radiação solar:

Os valores de insolação e de radiação são as medidas que, a grosso modo, irão ditar o nível de aptidão de determinado território para a produção de energia a partir do solar fotovoltaico. Pela sua importância, estas variáveis podem determinar a concretização ou não do projecto (EGA *et al*, 2011a). O conhecimento e análise temporal dos valores de insolação e radiação são tarefas usualmente efectuadas no estudo prévio dum projecto fotovoltaico pois permitem avaliar o rendimento energético possível e dimensionar correctamente a instalação às especificidades do local de implantação seleccionado. Conforme mencionado no capítulo anterior, os valores de insolação e radiação solar variam com a estação do ano e com a localização, nomeadamente, com a latitude do lugar. Para além disso, diferentes latitudes significam diferentes ângulos de incidência da radiação solar, logo diferentes quantidades de energia recebida. Na Terra, os valores máximos de radiação solar são registados perto do Equador, onde os ângulos de incidência da radiação são menores, conforme figura 11 (Buchadahl, 2002; NASA Education, 2015).

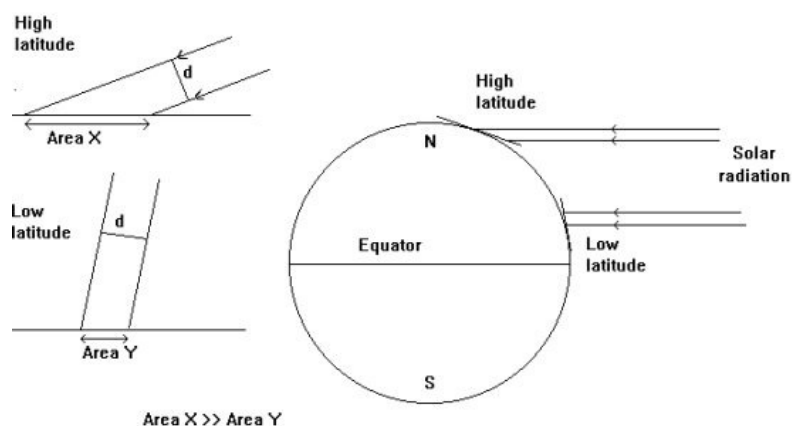


Figura 11 – Radiação solar à superfície terrestre  
Fonte: Buchadahl, 2002

Os valores, parâmetros e componentes da radiação solar são determinantes para o sistema PV, pela génese e funcionamento da célula fotovoltaica (CH2M HILL, 2008; EGA *et al*, 2011a; PPSEC, 2013). Os níveis de radiação solar global (parâmetro que mais interessa ao PV) deve situar-se entre os 3 e os 4 kWh/m<sup>2</sup>/dia (valor normalmente exigido para sucesso do PV, pese embora a evolução tecnológica) (IEA, 2010; GTES, 2014). Paralelamente, e atendendo às componentes da radiação solar global, em média, em dias cuja nebulosidade é nula, 20% da radiação que atinge a superfície terrestre é difusa, ao contrário dos dias de intensa nebulosidade, onde a totalidade da radiação que atinge a superfície terrestre é difusa. Conforme figura 12, para uma temperatura fixa (na ordem dos 25°C), o aumento da radiação solar reflecte-se no aumento da corrente eléctrica gerada (numa razão linear) e no aumento da tensão eléctrica (numa razão logarítmica). A influência da radiação solar e da temperatura é possível de verificar através da análise da curva corrente tensão, vulgarmente denominada curva *I-V*, que representa as características de saída dum dispositivo fotovoltaico expressa numa equação, ou seja, que representa a corrente e a tensão características da célula, módulo ou sistema fotovoltaicos (GTES, 2014).

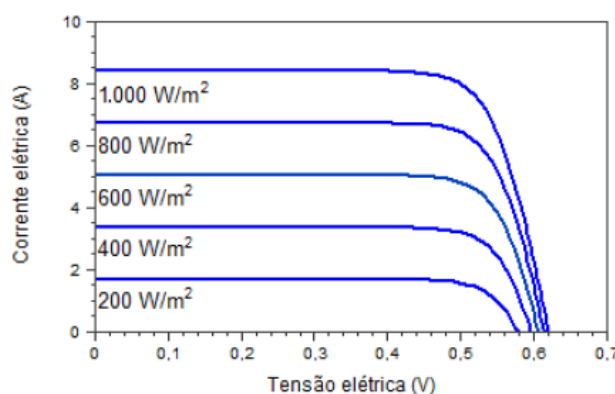


Figura 12 – Influência da variação da radiação solar na curva *I-V* de uma célula PV silício cristalino na temperatura 25°C  
Fonte: GTES, 2014

Tendo em conta que a radiação solar está condicionada à estação do ano (para Portugal – maior no Verão do que no Inverno), às condições climáticas e às horas, e que o consumo de electricidade não é linear ao longo do ano dados os valores de temperatura registados (para Portugal – com picos de consumo no Inverno e no Verão, dadas os valores de temperatura registados), qualquer projecto cujo objectivo seja a geração de energia, ligado à rede ou mesmo isolado, tem como desafio responder às necessidades energéticas intrínsecas ao território onde se pretende instalar (Greenpro, 2004; GTES, 2014). Por outro lado, há que ter em atenção a influência da proximidade a áreas urbanas nos níveis de radiação solar, dado o efeito dos poluentes que pode comprometer os níveis de radiação registados (NREL, 2006).

- **Topografia:**

As questões relativas à topografia (seja relevo, declives ou altitude), pela influência que podem exercer sobre os outros factores, são, a par da localização e da radiação solar dos factores que mais condicionam a produtividade do sistema solar fotovoltaico. Se por um lado é o relevo, topografia, declives e altitude que vão ditar a distribuição e instalação bem como organização e colocação dos módulos no território; por outro lado, vão também influenciar a situação climática do local (Fu *et al*, 2000). Para além disso, estas variáveis podem influenciar os custos associados à instalação do projecto dados pelo acesso e implantação possíveis (NREL,

2006; Dahle *et al*, 2008). A topografia bem como a sua variação espacial, à semelhança doutros factores (condições meteorológicas, dia e época do ano), é entendida, quer pela vertente da elevação, orientação ou declives, como factor que afecta a quantidade de radiação solar recebida por determinada localização, onde superfícies irregulares e declives acentuados são menos propícias à instalação de projectos PV por dotarem de maior complexidade o registo de radiação solar, conforme figura 13 (Fu *et al*, 2000; CH2M HILL, 2008; Gastli, *et al* 2010).

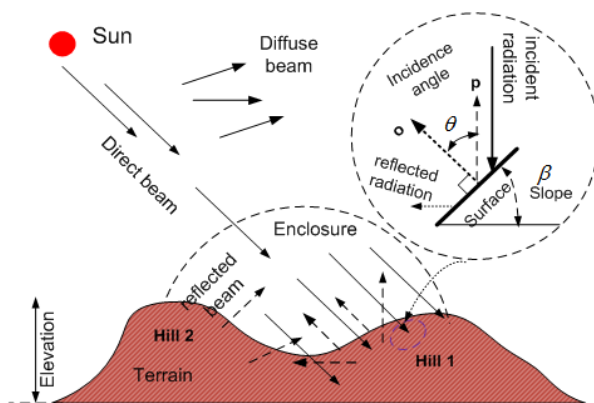


Figura 13 – Radiação solar incidente em relevos complexos  
Fonte: Jiang, 2014

As localizações tidas como mais favoráveis à implantação de projectos solares fotovoltaicos são caracterizadas por declives relativamente baixos (na ordem dos 5%), no fundo, áreas planas, de forma a facilitar a construção do projecto, a evitar sombreamentos entre os próprios painéis e a aproveitar a maximização da radiação solar incidente (CH2M HILL, 2008; Charabi *et al*, 2011; EGA *et al*, 2011a). Para além disso, outra variável a considerar é a altitude pois grandes altitudes são sinónimo de altos níveis de radiação solar. No entanto, não significa que estejam garantidas as condições para a sua captação ou máxima produtividade, já que grandes altitudes podem significar maior ocorrência de ventos e de nebulosidade (Buchadahl, 2002).

- **Orientação, exposição e inclinação do terreno e consequentemente dos painéis:**

Tendo em conta que a produção de energia está directamente dependente da quantidade de radiação solar incidente por área nos painéis fotovoltaicos e que o posicionamento inadequado do painel pode conduzir a perdas energéticas drásticas, os mesmos devem ser orientados numa óptica de máxima exposição solar possível ao longo do ano. Por isso mesmo, a colocação dos módulos no terreno deve obedecer às orientações, exposições, inclinações, azimutes e ângulos de elevação tidos como mais adequadas à localização e ao tipo de sistema seleccionado. Numa óptica de maximização da energia solar recebida, existem lógicas que defendem que os painéis devem ter uma inclinação correspondente à latitude do lugar (localização seleccionada); lógicas que defendem diferentes inclinações de acordo com a localização e o tipo de sistema, se isolado (15° acima da latitude do local de instalação, para Portugal, de forma a aumentar a contribuição da produção de energia na estação fria, pois uma vez que corresponde a uma altura de menor radiação é necessário um ângulo de inclinação maior) ou ligado à rede (10° abaixo da latitude do local de instalação, para Portugal, de forma a maximizar a produção anual de energia, sendo para isso necessário um menor ângulo de inclinação); e lógicas que defendem que as melhores inclinações variam

com a estação do ano, maiores no Inverno e menores no Verão (para Portugal é admitida uma inclinação óptima entre 50° a 60° no Inverno e entre 5° e 10° no Verão) (Greenpro, 2004; Dahle *et al*, 2008; GTES, 2014). No entanto, em termos genéricos pode afirmar-se que a maximização da radiação solar incidente é conseguida quando os raios solares descrevem uma incidência perpendicular relativamente às células já que “a radiação solar é sempre maior numa área que se estende perpendicularmente em relação aos raios solares, do que numa área horizontal das mesmas dimensões” (Associação e-LEE, 2003; Greenpro, 2004). Para além da inclinação, a organização, colocação e disposição efectiva dos painéis no terreno deve ser planeada e efectuada de forma a evitar o sombreamento entre os mesmos, numa óptica de maximização da produtividade energética do projecto, uma vez as quebras abruptas de corrente, no módulo, painel e, consequentemente, no sistema PV devido a sombras nas células PV (GTES, 2014). Crê-se, portanto, que devem ser respeitadas as distâncias entre as diversas filas de painéis de forma a evitar possíveis sombreamentos numa lógica de optimização do espaço disponível. Por isso mesmo, e conforme explanado na figura 14, o ângulo de sombreamento será ditado pela inclinação do painel em relação à superfície terrestre (em função da lógica adoptada) e pela distância entre as filas de painéis (Green Rhino Energy Ltd., 2013).

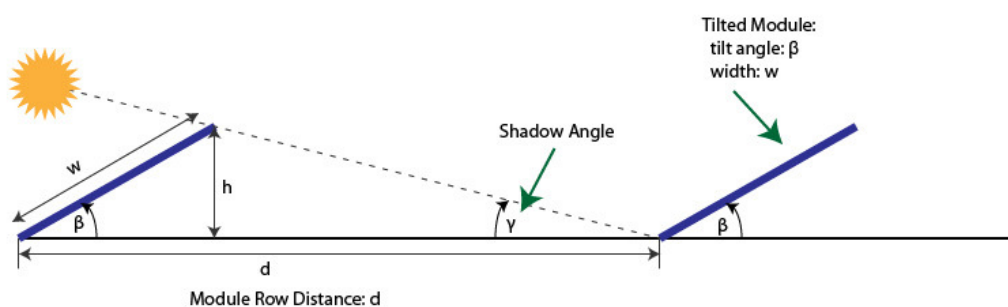


Figura 14 – Determinação do ângulo de sombreamento entre os painéis  
Fonte: Green Rhino Energy Ltd., 2013

Relativamente à orientação dos painéis, estes devem estar orientados a Sul, ou Sul geográfico (dependendo da lógica ou bibliografia adoptada) para localizações no hemisfério Norte, pois, como é o caso de Portugal “as encostas orientadas para sul são as que recebem mais calor e mais luz” (Daveau, 2000; Dahle *et al*, 2008; GTES, 2014). Mais, para Portugal, “a orientação óptima de uma instalação é a direcção Sul, com um ângulo de 35° de inclinação”, onde “o nível de irradiação é quinze por cento maior do que numa área horizontal” (Greenpro, 2004). Embora não considerado neste trabalho, importa salientar que alguns projectos solares fotovoltaicos, através do aumento de investimento, recorrem aos chamados seguidores solares, ou seja, a dispositivos que ao serem programados com o algoritmo do movimento do sol possibilitam a maximização da radiação solar incidente sobre uma superfície PV (Energy.Gov, 2015). No que toca à colocação dos painéis, é usual admitir as condições menos favoráveis, logo os valores mais baixos de intensidade de radiação solar (meses de Dezembro e Janeiro), sempre que urge especificar os ângulos de elevação e azimute dos mesmos e garantir uma fonte de alimentação fiável ao longo do ano.

- **Variáveis Climáticas:**

Ainda que dependente da tecnologia associada, temperaturas ambiente elevadas condicionam o desempenho do sistema PV, crendo-se, portanto, que áreas com temperaturas médias inferiores são mais

indicadas para a implantação deste tipo de projectos, pese embora o efeito do aumento da temperatura ambiente ao nível da eficiência da célula solar seja apenas de  $-0,3\%/^{\circ}\text{C}$  (Carrión *et al*, 2008; Mayfield, 2010; PPSEC, 2013). Para além disso, tendo em conta que uma parte da energia solar incidente é dissipada sob a forma de calor, “a temperatura das células é sempre superior à temperatura ambiente” (Associação e-LEE, 2003; Kalogirou, 2009; Mayfield, 2010). O aumento da temperatura traduz-se numa diminuição da tensão na célula PV e numa elevação residual da corrente (insuficiente para compensar a perda causada por essa diminuição da tensão), o aumento da radiação solar e / ou da temperatura ambiente reflecte-se num aumento da temperatura da célula com consequências ao nível da redução da eficiência do módulo (figura 15). Importa ainda salientar que  $1000\text{ W/m}^2$  é o valor de radiação solar global tido como padrão para a especificação da potência nominal de uma célula ou módulo fotovoltaico depois de extraída as perdas de fluxo de potência de aproximadamente 27% dadas pelas interações que ocorrem durante a passagem pela atmosfera até chegar à superfície terrestre (GTES, 2014).

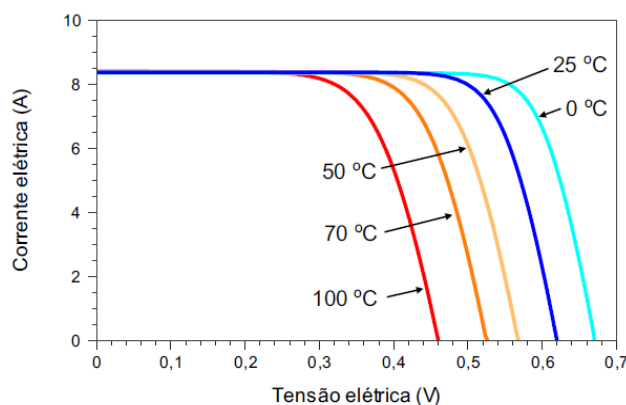


Figura 15 – Influência da temperatura da célula PV na curva I-V para uma radiação solar global de  $1000\text{ W/m}^2$   
Fonte: GTES, 2014

Paralelamente, e dada a estreita relação estabelecida entre a nebulosidade e a radiação solar, os projectos fotovoltaicos terão mais sucesso se implantados em áreas com fraca ou nenhuma nebulosidade, já que sempre que a nebulosidade diminui a radiação aumenta (Associação e-LEE, 2003; Alves, 2013). Para além disso, e embora o *design* estrutural dum painel PV seja cada vez mais robusto, mais evoluído e capaz de garantir o seu desempenho com a ocorrência de ventos, mesmo com velocidades elevadas, nomeadamente em locais cuja velocidade dos ventos seja superior a cerca de  $130\text{ km/h}$ , projectos PV são mais eficientes em áreas cuja ocorrência e velocidade dos ventos seja residual, já que velocidades de vento elevadas podem danificar os painéis e aumentar o depósito de poeiras, pese embora ação dos ventos na redução da temperatura das células PV (Dahle *et al*, 2008; ADB, 2013). Há, ainda, que ter em linha de conta que a variabilidade dos fenómenos climáticos aumenta em áreas de costa ou áreas montanhosas o que afecta os níveis de radiação solar registados (NREL, 2006).

- **Existência e proximidade às linhas eléctricas:**

Um projecto de cariz energético, baseado ou não em FER, tem associada a produção de energia para consumo. Para que a energia produzida possa ser consumida tem de ser transmitida, do local de produção ao local de consumo. Essa transmissão tanto pode ser possível através das infra-estruturas eléctricas existentes como pode implicar uma nova linha, com características diferentes, mais evoluídas e adaptadas

ao projecto em causa. Assim, tendo em conta que as linhas eléctricas funcionam como linhas de transporte de energia, a existência e o grau de proximidade destas bem como a capacidade de transmissão e a possibilidade de expansão, afectam o custo, investimento, prazo e desenvolvimento dum projecto fotovoltaico (NREL, 2006; CH2M HILL, 2008). Tendo em consideração que os custos de “construção” duma linha de transmissão pode atingir valores muito elevados, a existência na proximidade da área de implantação de linha com capacidade adequada ao projecto PV é um factor muito importante (Dahle *et al*, 2008). Há ainda que considerar a questão da distância entre o ponto de produção e o ponto de consumo, pois as perdas aumentam na razão proporcional com o aumento dessa distância e o custo da energia no ponto de entrega ou consumo poderá também variar (NREL, 2006). Daí que localizações servidas na sua proximidade por infra-estruturas eléctricas capazes de receber a electricidade produzida são consideradas mais aptas uma vez que essa proximidade pode favorecer a redução de perdas de transmissão (Charabi *et al*, 2011). Para além disso, importa realçar que para projectos de grande escala de produção é imperativo assegurar o transporte e “escoamento” da energia para a Europa (via Espanha), nomeadamente, através da concretização dos investimentos previstos em termos de Rede Eléctrica Nacional especialmente coincidentes com o Concelho de Ourique que vão condicionar a expansão da produção solar de todo o Baixo Alentejo.

- **Boas acessibilidades:**

Ainda que não seja um factor que condicione a produtividade do funcionamento da célula, módulo, painel ou projecto fotovoltaico, a existência ou inexistência de vias de acesso ao local de implantação do projecto condiciona o investimento económico e financeiro e, consequentemente, o custo de implantação dum sistema fotovoltaico. Áreas com boas acessibilidades viárias ou rodoviárias são mais benéficas, já que os custos adicionais com a construção de infra-estruturas viárias, com impactos decorrentes no ambiente, não se aplicam ou são manifestamente mais baixos (CH2M HILL, 2008; Charabi *et al*, 2011).

- **Geomorfologia:**

Uma vez que a fixação dos painéis no terreno é influenciada pelo tipo de solo, crê-se que solos arenosos requerem estacas e / ou sapatas maiores, o que, embora possa ser residual no seio do projecto, contribui para um acréscimo dos custos de instalação e das taxas municipais.

- **Disponibilidade de Terrenos / localizações disponíveis:**

A verificada disponibilidade de terrenos surge como condição *sine qua non* para a implantação dum projecto PV. Dependendo do tipo de tecnologia ou do tipo de sistema PV, da escala ou potência do projecto, serão fixadas as condições que as localizações devem garantir. Pode afirmar-se que projectos PV requerem, preferencialmente, áreas descobertas, sem utilização, com pouca ou nenhuma vegetação, de forma a garantir a máxima produtividade por área e a evitar os sombreamentos ou gestão florestal à qual podem obrigar (CH2M HILL, 2008; Clifton *et al*, 2010). Ainda assim, um projecto PV pode compatibilizar-se com áreas com coberto vegetal, nomeadamente, aquele que é protegido (no caso do Município de Ourique a questão do montado de sobro ou azinho), embora aí tenha de admitir-se um incremento da área necessária para manter a produtividade inicialmente seleccionada e a eliminar ou minimizar as interferências negativas que a existência de árvores pode acarretar para a rentabilidade do projecto. De forma a desburocratizar o processo de autorização ou de licenciamento dum projecto PV, os mais adequados são os terrenos com o

mínimo de condicionantes territoriais. Para além disso, crê-se que terrenos cuja utilização é nula, cuja capacidade e aptidão do solo é muito fraca, terrenos cujo valor é mínimo – terras sem valor, digamos assim – deviam ser consideradas para fins solares fotovoltaicos, uma vez que, acrescentaria valor à terra, servindo como recuperação ou reconversão de terreno considerado baldio ou marginalizado (Charabi *et al*, 2011). Para a instalação de projectos PV não é necessária a posse efectiva dos terrenos, mas obriga a uma autorização do proprietário ou direito de superfície, normalmente mediada por um contrato de arrendamento, por um período nunca inferior a 15 anos e cujo valor da renda poderá ser fixo por hectare, por tarifa ou de acordo com a percentagem da receita bruta da parcela de terreno (Dahle *et al*, 2008).

No desenho dum projecto PV existem factores, que embora não condicionem directamente a produtividade e a eficiência do sistema, devem ser considerados, tais como: a garantia da ventilação de forma a remover o calor entre os módulos; a selecção do tipo de sistema (ligado à rede, isolado, híbrido) de acordo com as características da carga e a disponibilidade de recursos energéticos; e os custos, normalmente avultados, com a limpeza e a manutenção dos painéis, ou seja, embora a água não seja factor necessário para um projecto PV, surge como essencial para assegurar a manutenção e limpeza dos módulos, cuja regularidade é ditada pelas condições do local de implantação e pelo resultado da análise económica dos custos de manutenção versus aumento da produção energética (Dahle *et al*, 2008; GTES, 2014). Dos factores supramencionados, com efeitos diferenciados sobre o desempenho do sistema PV – uns afectam directamente o desempenho da célula fotovoltaica enquanto outros afectam o custo e investimento necessário para a instalação e funcionamento dum projecto de grande dimensão – a localização, por ser um factor transversal a todos os outros, é dos que mais condiciona o rendimento do próprio sistema. Embora os factores mencionados estejam já focados na área seleccionada para o caso de estudo, outros factores podem condicionar a produtividade do sistema fotovoltaico ou mesmo os custos de implantação e manutenção com o projecto e as receitas (projectos localizados perto dos desertos podem ser afectados pelas poeiras ou areias o que para o bom funcionamento e maior eficácia dos painéis seria necessária uma limpeza / manutenção mais assídua que em locais onde esse risco não se verifica, sendo que para além do valor da mão-de-obra e meios necessários, teríamos de somar o valor da água, o recurso necessário à limpeza que em determinados países pode assumir valores proibitivos, e subtrair esses custos às receitas tendo em atenção que o rendimento do módulo teria sido comprometido) (Charabi *et al*, 2011).

Os factores que afectam os níveis de recursos solares podem ser, portanto, agrupados pelo seu grau de previsibilidade – consoante a localização do projecto e, consequentemente, latitude, longitude, altitude, dia, hora, mês e ano – ou imprevisibilidade – dado pela variação de factores climáticos (grau, dispersão ou concentração da nebulosidade, por exemplo) e pelas características e constituintes da atmosfera (vapor de água, ozono, aerossóis) que podem condicionar os valores de radiação solar registados à superfície terrestre (NREL, 2006).

Ainda que não mensurável neste trabalho, importa também realçar que uma vez que as FER dependem directamente de variáveis climáticas crê-se que os impactos causados pelas alterações climáticas têm



efeitos sobre a disponibilidade de determinado recurso, quer em termos de procura quer em termos de oferta. No que toca ao recurso solar, e exceptuando os fenómenos climáticos extremos (secas, ciclones, inundações), o aumento da temperatura e da nebulosidade repercute-se ao nível da diminuição da eficiência e da produção, embora esses efeitos sejam compensados pelo aumento dos níveis de radiação solar registados no Verão. Para além disso, ainda que não existam claras evidências, crê-se que *“deverá ocorrer um aumento significativo da radiação e uma diminuição da nebulosidade”*, repercutindo-se num provável aumento da disponibilidade do recurso solar face à actualidade (Santos *et al*, 2002; RCM n.º 24/2010, de 1 de Abril; Alves, 2013).

### 3.3 Condicionantes Territoriais

De forma a desburocratizar o processo de autorização ou de licenciamento dum projecto PV, a assegurar a optimização do espaço, a concretizar o pleno respeito pelo ambiente dito natural e a garantir a componente de sustentabilidade territorial e ambiental do projecto PV, consideram-se como mais aptas à instalação de projectos PV as áreas não sujeitas a servidões administrativas ou restrições de utilidade pública ou sujeitas ao mínimo possível de condicionantes territoriais fixadas pelos IGT ou legislação específica em vigor. Em termos genéricos, deve entender-se por servidão administrativa *“o encargo imposto sobre um imóvel em benefício de uma coisa, por virtude da utilidade pública desta”*; e por restrição de utilidade pública ao uso do solo como *“toda e qualquer limitação sobre o uso, ocupação e transformação do solo que impede o proprietário de beneficiar do seu direito de propriedade em plano, sem depender de qualquer acto administrativo uma vez que decorre directamente da Lei”* (Branco *et al*, 2011).

Uma vez que a existência, quantidade e diversidade de condicionantes territoriais estão directamente relacionadas com a localização seleccionada, abaixo identificam-se as condicionantes territoriais com influência em matéria de solar fotovoltaico a considerar na área escolhida para caso de estudo (Concelho de Ourique) a desenvolver neste projecto e as orientações estratégicas presentes nos IGT, enquadradas nesta temática.

Assim, e uma vez que os documentos a seguir analisados foram elaborados à luz do antigo Regime Jurídico dos IGT (RJIGT), pode afirmar-se que o Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território (PNPOT), documento de âmbito nacional, é o *“instrumento de desenvolvimento territorial de natureza estratégica que estabelece as grandes opções com relevância para a organização do território nacional, consubstancia o quadro de referência a considerar na elaboração dos demais”* IGT e *“constitui um instrumento de cooperação com os demais Estados membros para a organização do território da União Europeia”* (Lei n.º 58/2007, de 4 de Setembro). Numa altura em que o Programa de Acção do PNPOT para o período 2014-2020 está em elaboração, é de realçar que na sua versão de 2007, este programa apresentava já fortes indicações relativamente ao que devia ser a aposta nas renováveis, energia solar e tecnologia fotovoltaica para o País e em particular para o Alentejo (MAOTDR, 2006b).

Através dos seus Objectivos Específicos (OE) o PNPOT identifica um conjunto de Medidas Prioritárias (MP) na área das renováveis, tais como: MP 1.1.2 – *“Realizar o levantamento do potencial efectivo e da taxa de renovação natural dos recursos renováveis, incluindo a conclusão do levantamento do potencial energético renovável, e das pressões a que estão sujeitos (2007-2010)”*, que se encontra em fase de elaboração quer pelo LNEG quer através de estudos específicos ao nível dos PROT e com recurso a tecnologias SIG e que irá abranger essencialmente as energias eólicas e solar; MP 1.9.1 – *“Promover a investigação científica e tecnológica que potencie a utilização sustentada dos recursos energéticos renováveis (2007-2013)”*, medida que se encontra em curso, destacando-se *“a elaboração de cartografia nacional de referência de recursos naturais na perspectiva específica das Energias Renováveis”*; MP 1.9.2 – *“Dinamizar uma maior participação das fontes renováveis de energia na produção de electricidade e promover a utilização de tecnologias de captura e fixação de CO<sub>2</sub> de modo a reduzir as emissões de gases com efeito de estufa (GEE) (2007-2013)”*, medida cuja elaboração está a decorrer mas já com elevada taxa de execução, sendo materializada através da conclusão do *“sistema legislativo”*, da regulamentação do *“acesso à produção de electricidade de origem renovável”*; do *“lançamento dos concursos públicos para adjudicação de potências de injeção de energia eléctrica de fonte renovável”* e do *“aumento da capacidade instalada de produção de electricidade a partir de FER”*; e MP 1.9.3 – *“Simplificar e agilizar os procedimentos de licenciamento das infra-estruturas e equipamentos de produção de energia de fonte renovável, nomeadamente no interface entre a economia e o ambiente com respeito pelos procedimentos ambientais (2007-2008)”*, medida cuja execução está quase concluída, e abrange a *“conclusão do processo de enquadramento legislativo na área da energia, em especial ao nível da simplificação de processos e do quadro remuneratório para a produção de energias de fonte renovável”*, para além das demais actividades (MAOTDR, 2006a; MAOTDR, 2006b; DGT, 2014b).

O Plano Regional de Ordenamento do Território (PROT) é um instrumento de âmbito regional que define *“a estratégia regional de desenvolvimento territorial”*, integra *“as opções estabelecidas a nível nacional”* e *“as estratégias municipais de desenvolvimento local”* e que constitui *“o quadro de referência para a elaboração dos planos municipais de ordenamento do território”* (PMOT) (DL n.º 46/2009, de 20 de Fevereiro).

O PROTA demonstra uma estreita articulação da temática com as opções estratégicas apresentadas, especificamente com o Eixo Estratégico III — *“Diversificação e Qualificação da Base Económica Regional”*, no seu Objectivo Estratégico de Base Territorial (OEBT) III.1 — *“Reforçar e desenvolver de forma sustentada e mais competitiva os sectores tradicionais estratégicos ampliando e qualificando as respectivas cadeias de valor, e consolidar o desenvolvimento das actividades estratégicas emergentes diversificando e qualificando a base económica e afirmando novos sectores de especialização regional”*, no qual se insere o OEBT III.1.2 — *“Actividades estratégicas emergentes”*, na linha programática *“Promoção da produção de energia eléctrica limpa, sem emissões de CO<sub>2</sub> fomentando a instalação de unidades centralizadas e descentralizadas de microgeração de energia eléctrica e térmica baseadas em fontes renováveis”* (RCM n.º 53/2010, de 2 de Agosto). O PROTA defende a aposta na sustentabilidade energética da região do Alentejo explanada, nomeadamente e para a tipologia de energia em análise, através do reconhecimento das vantagens associadas à energia solar fotovoltaica, que ao permitir uma descentralização da produção está

mais adequada às características do povoamento da região, podendo ser particularmente benéfica no abastecimento de energia aos pequenos aglomerados populacionais. Realça a necessidade de incentivo (financeiro, fiscal ou outro) por parte da administração central de forma a viabilizar a instalação de pequenas unidades de produção de electricidade e a necessidade dos PMOT incorporarem um quadro normativo adequado à produção de electricidade tendo por base as FER. Para além disso, defende a afirmação dum *“cluster tecnológico regional forte no domínio da energia solar fotovoltaica, tanto a nível nacional como internacional”* fruto das empresas, instituições e unidades de investigação, em muito justificado pelo *Know-how* da região no domínio do fotovoltaico (RCM n.º 53/2010, de 2 de Agosto).

O Plano Director Municipal (PDM) é um instrumento de âmbito municipal de elaboração obrigatória que *“estabelece a estratégia de desenvolvimento territorial, a política municipal de ordenamento do território e de urbanismo e as demais políticas urbanas, integra e articula as orientações estabelecidas pelos instrumentos de gestão territorial de âmbito nacional e regional e estabelece o modelo de organização espacial do território municipal”* (DL n.º 46/2009, de 20 de Fevereiro). O PDM de Ourique, aprovado pela RCM n.º 35/2001, de 3 de Abril, encontra-se actualmente em fase de Revisão (a primeira) e é omissa em matéria de instalação de projectos para produção de electricidade baseados em FER, nomeadamente, solar fotovoltaico. No entanto, é do entendimento das entidades municipais e regionais em matéria de ordenamento do território (Câmara Municipal e CCDRA) que a omissão não inviabiliza a possibilidade de instalação dum projecto desta envergadura, caso esse projecto se coadune com os objectivos e orientações estratégicas explanadas nos IGT de âmbito imediatamente superior, como o PROTA e o PNPOT.

As condicionantes territoriais identificadas para o caso de estudo correspondem às servidões administrativas e restrições de utilidade pública ao uso do solo, agrupadas em grandes áreas temáticas, e são as seguintes:

- **Recursos naturais:**

- Domínio Hídrico (DH):

Como servidões administrativas do domínio hídrico entendem-se as afectas aos recursos hídricos, nomeadamente, uma faixa de 10 m para além do leito (em condições de caudal médio) para as linhas de água não navegáveis nem fluviáveis e respectivas margens e uma faixa de *“30 m para além do leito (em condições de cheia média)”* para outras águas navegáveis ou fluviáveis – servidões constituídas com o objectivo da protecção e salvaguarda dos recursos hídricos (Aviso n.º 1534/2014, de 3 de Fevereiro).

- Albufeiras de Águas Públicas (AAP):

A servidão relativa às Albufeiras de Águas Públicas de serviço público foi constituída com a finalidade de assegurar o respeito pelas respectivas zonas de protecção resultantes do tipo de classificação que têm, se protegida ou se de utilização livre, e pela necessidade de garantir as principais finalidades que determinaram a construção das barragens e de assegurar a protecção e manutenção das mesmas (DL n.º 107/2009, de 15 de Maio; Portaria n.º 522/2009, de 15 de Maio; Branco *et al*, 2011). No caso das duas albufeiras de utilização livre (Monte Gato e Monte Miguéis) está interdita a construção na área da albufeira e nas respectivas zonas de protecção, devendo para isso ser assegurada uma faixa de 500 m *“contados a partir da linha do nível de pleno armazenamento”* correspondente à zona terrestre de

protecção e ainda “uma faixa de 500 m a jusante da barragem, contados desde a linha limite do coroamento da referida infra-estrutura” (DL n.º 107/2009, de 15 de Maio). No caso das duas albufeiras protegidas que existem na área do caso de estudo (Monte da Rocha (MR) e Santa Clara (SC)), aplica-se o disposto no respectivo Plano de Ordenamento de Albufeira (POA) que as regulamenta. É, assim, especificada uma área de intervenção do plano, para além da área da albufeira e identificadas as actividades e usos compatíveis e interditos com o propósito que determinou a elaboração do POA (RCM n.º 154/2003, de 29 de Setembro; RCM n.º 185/2007, de 21 de Dezembro).

- Captações de águas subterrâneas:

A existência de captações de águas subterrâneas para abastecimento público determina a necessidade de assegurar uma faixa de protecção para a qual o uso e ocupação são condicionados ou interditos, justificada pela importância destas enquanto importantes fontes água, seja para rega seja para consumo (Branco *et al*, 2011). A servidão relativa às captações de águas subterrâneas estabelece um perímetro de protecção que inclui as “áreas limítrofes ou contíguas a captações de água”, diferenciado por três níveis (imediato, intermédio e alargado), os quais “devem ter uma utilização condicionada, de forma a salvaguardar a qualidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos utilizados” (Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro; Portaria n.º 702/2009, de 6 de Julho). No entanto, à data da elaboração do presente trabalho, apesar de estarem definidos os termos em que se processa a delimitação dos respectivos perímetros de protecção das captações, no caso do Concelho de Ourique, estes não se encontram ainda definidos.

- **Recursos geológicos:**

- Massas minerais:

A servidão administrativa relacionada com as áreas afectas ou contíguas à exploração, nomeadamente à extracção de massas minerais foi constituída com o intuito de garantir uma maior protecção dos recursos ecológicos e geológicos, promover uma maior conciliação dos usos e assegurar “o interesse económico da massa mineral” (Branco *et al*, 2011). Conforme regulamento do PDM de Ourique, nas áreas afectas à exploração de massas minerais “não são autorizadas acções que pela sua natureza e dimensão inviabilizem o aproveitamento dos recursos existentes” (Aviso n.º 1534/2014, de 3 de Fevereiro). São definidas faixas de protecção às pedreiras, que diferem de acordo com o uso ou ocupação propostos, sem qualquer referência a um uso compatível com o que se aborda neste trabalho de projecto. Para além disso, é definida uma “faixa non aedificandi de 50 m para as explorações de inertes” (Aviso n.º 1534/2014, de 3 de Fevereiro).

- **Recursos agrícolas e florestais:**

- Reserva Agrícola Nacional (RAN):

A RAN é constituída por um conjunto de áreas que apresentam uma vocação dita por natural e uma maior aptidão para a actividade agrícola, em virtude das suas características morfológicas, agro-climáticas, geomorfológicas, pedológicas e sociais (DL n.º 73/2009, de 31 de Março; Branco *et al*, 2011). A RAN deve ser entendida como restrição de utilidade pública ao qual se aplica “um regime territorial especial, que condiciona a utilização não agrícola do solo” (DL n.º 73/2009, de 31 de Março). Assim, numa óptica de utilização e gestão eficaz e sustentável do espaço, uma vez que as áreas de RAN são

áreas preferenciais para a actividade agrícola, a servidão relativa a esta temática determina que as áreas de RAN constituem áreas *non aedificandi*, onde estão “*interditas toda as acções que diminuam ou destruam as potencialidades para o exercício da actividade agrícola*” (DL n.º 73/2009, de 31 de Março). Ainda assim, e desde que não exista alternativa viável fora das áreas de RAN, este regime admite “a instalação de equipamentos para produção de energia a partir de FER”, embora sujeita a parecer prévio vinculativo da Entidade Regional da RAN (DL n.º 73/2009, de 31 de Março).

○ Aproveitamentos hidroagrícolas:

As áreas beneficiadas por aproveitamentos hidroagrícolas e respectivas infra-estruturas constituem uma condicionante ao uso do solo, cuja servidão pretende “*garantir a utilização destas obras para os fins a que se destinam, respeitar a integridade dos perímetros agrícolas e instituir um modelo de gestão adequado*” (Branco *et al*, 2011). Tendo em conta que o Concelho de Ourique é abrangido pelos aproveitamentos hidroagrícolas do Alto Sado (parte), do Monte Miguéis e do Monte Gato, todas e quaisquer construções, actividades ou utilizações não agrícolas de prédios ou parcelas de prédios que incidam nestas áreas estão interditas, a não ser as que sejam admitidas como complementares à actividade agrícola, sendo que qualquer intervenção nesta área está sujeita a parecer prévio vinculativo da entidade com competência em matéria de regadio (DL n.º 86/2002, de 6 de Abril). Para além disso, as infra-estruturas de rega e drenagem estão sujeitas a uma faixa de protecção nunca inferior a 5 m para cada lado das extremas dos canais ou do eixo das condutas (DL n.º 86/2002, de 6 de Abril).

○ Áreas de montado de sobre e azinho:

As áreas de montado de sobre e azinho, pela importância ambiental e económica que ocupam em Portugal e pela relevante função que desempenham em matéria de “*conservação do solo, regularização do ciclo hidrológico e qualidade da água*”, têm associada uma servidão com consequências ao nível do uso e ocupação das áreas assim classificadas (Branco *et al*, 2011). Nestas áreas, o corte ou arranque de árvores (sobreiro ou azinheira) está sujeito a autorização do Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF) e da Direcção Regional da Agricultura e Pescas (DRAP) competente. Estas operações são autorizadas desde que se realizem numa lógica de “*melhoria produtiva dos povoamentos*” no caso dos desbastes, “*por razões fitossanitárias*” ou sempre que se trate de da “*alteração do regime de exploração para talhadia*”, “*empreendimentos de imprescindível utilidade pública*” e de “*empreendimentos agrícolas com relevante e sustentável interesse para a economia local*” (determinados pelo Ministro da tutela do empreendimento) no caso dos cortes de conversão (DL n.º 169/2001, de 25 de Maio). Para além disso, sempre que se trate de áreas que tenham sido alvo de conversões estão proibidas “*quaisquer alterações de uso do solo durante 25 anos*” (DL n.º 169/2001, de 25 de Maio). Paralelamente, sempre que se trate de áreas onde tenham sido efectuados cortes ou abates ilegais, estão proibidos pelo prazo de 25 anos, operações de alteração de uso do solo, quaisquer conversão que não seja considerada de “*imprescindível utilidade pública*”, obras de edificação, construção, urbanização, “*alterações à morfologia do solo ou do coberto vegetal*” ou a implantação de “*novas actividades agrícolas, industriais ou turísticas*” (DL n.º 169/2001, de 25 de Maio).

○ Povoamentos florestais percorridos por incêndios:

Os povoamentos florestais ocupam actualmente uma posição de destaque em Portugal, sendo a sua protecção e salvaguarda uma prioridade nacional. Por isso mesmo, a existência de espaços florestais, de Instrumentos de Gestão Florestal e de áreas percorridas por incêndios reflecte-se na constituição de uma servidão, numa lógica de protecção dos recursos florestais fustigados pelos incêndios e de minimização de repetição de riscos para a humanidade através da adopção de medidas de gestão de combustível e de silvicultura preventiva (Branco *et al*, 2011). Nas áreas classificadas nos Planos Municipais de Defesa da Floresta Contra Incêndios (PMDFCI) como áreas cujo risco de incêndio é alto ou muito alto e fora dos espaços edificados já consolidados, está interdita a construção de edificação para habitação, comércio, serviços ou indústria. Por outro lado, sempre que se trate de espaços rurais devem ser respeitadas as regras fixadas no PMDFCI respectivo ou, caso não exista, deve ser garantida uma faixa de protecção de 50 m desde a extrema da propriedade (DL n.º 17/2009, de 14 de Janeiro). Numa lógica de recuperação dos espaços florestais, os proprietários dos terrenos cujos povoamentos florestais sejam atingidos por incêndios florestais devem, obrigatoriamente, efectuar e garantir a rearborização desses terrenos, à excepção de quando a utilização anterior não for a considerada como mais adequada aos terrenos ou face à sua situação económica tal tarefa não seja possível (DL n.º 139/88, de 22 de Abril). Para além disso, nas áreas classificadas por PMOT como rurais, cujos terrenos com povoamentos florestais sejam atingidos por incêndios estão interditas uma série de acções relacionadas com obras de edificação, novas actividades cujo impacto possa ser negativo, a substituição da espécie florestal, o lançamento de águas residuais e actividades de campismo. Estas proibições podem ser levantadas passado um ano *“por despacho conjunto dos ministros responsáveis pelas áreas do ambiente e do ordenamento do território e da agricultura”* ou em qualquer altura desde que se trate de *“uma acção de interesse público ou de um empreendimento com relevante interesse geral”* mediante *“despacho conjunto dos membros do Governo responsáveis pelas áreas do ambiente e do ordenamento do território e da agricultura e do membro do Governo competente em razão da matéria”* (DL n.º 55/2007, de 12 de Março). Importa ainda realçar que o Município de Ourique é na sua totalidade considerado como zona crítica definida em sede de Plano Regional de Ordenamento Florestal do Baixo Alentejo (PROFBA) uma vez *“ser prioritária a aplicação de medidas mais rigorosas de defesa da floresta contra incêndios face ao risco de incêndio que apresentam e em função do seu valor patrimonial, social ou ecológico”* (DGRF, 2006; DL n.º 17/2009, de 14 de Janeiro).

- **Recursos ecológicos:**

- Reserva Ecológica Nacional (REN):

A REN é *“uma estrutura biofísica que integra o conjunto das áreas que, pelo valor e sensibilidade ecológicos ou pela exposição e susceptibilidade perante riscos naturais, são objecto de protecção especial”* tipificada por *“áreas de protecção do litoral, áreas relevantes para a sustentabilidade do ciclo hidrológico terrestre e áreas de prevenção de riscos naturais”* (DL n.º 239/2012, de 2 de Novembro). É também uma restrição de utilidade pública cujo regime territorial estabelece um conjunto de regras que condicionam o uso e a ocupação do solo, mediante o grau de compatibilidade destas acções com o princípio fundamental que determinou a criação da REN (Branco *et al*, 2011). Assim, confirmando-se que o uso proposto – instalação de projecto solar fotovoltaico – é coincidente com o disposto no anexo II a

que se refere o artigo 20º, ponto II alínea f) designado de “*produção e distribuição de electricidade a partir de fontes de energia renováveis*” do DL n.º 239/2012, de 2 de Novembro e compatível com “os *objectivos de protecção ecológica, ambiental e de prevenção e redução de riscos naturais de áreas integradas*” em REN, mediante a classe da reserva abrangida assim será este uso interdito ou sujeito a autorização da CCDRA (DL n.º 239/2012, de 2 de Novembro). Em termos específicos, a instalação de projectos solares fotovoltaicos está interdita no leito e respectiva margem dos lagos, lagoas e albufeiras e nas áreas de instabilidade e de vertentes, carecendo de autorização nas restantes classes das áreas de sustentabilidade do ciclo da água e nas áreas de prevenção de riscos naturais (DL n.º 239/2012, de 2 de Novembro).

- Rede Natura (RN) 2000:

A RN2000 “*é uma rede ecológica de âmbito europeu*” resultado da transposição para o direito nacional das Directivas Comunitárias Aves e Habitats com objectivos ao nível da conservação de aves selvagens e a biodiversidade, respectivamente, incluindo, portanto, as Zonas de Protecção Especial (ZPE) e as Zonas Especiais de Conservação (ZEC) que funcionam como instrumentos de protecção aos objectivos fixados pelas supramencionadas directivas, que no caso de Ourique só as ZPE's de Castro Verde e das Piçarras ocupam cerca de 6177 ha (DL n.º 142/2008, de 24 de Julho; Branco *et al*, 2011). Conforme legislação específica em vigor, a instalação de projectos solares fotovoltaicos nas áreas classificadas como RN2000 dependem de parecer favorável do ICNF e da CCDR competente, para além das questões relativas à Avaliação de Impacte Ambiental (AIA) (DL n.º 49/2005, de 24 de Fevereiro). Em termos gerais e sempre que se trate de “*Instalações industriais destinadas à produção de energia eléctrica, de vapor e de água quente (não incluídos no anexo I)*” – como é o caso – é obrigatória a elaboração de AIA sempre que a potência dos projectos seja igual ou superior a 50 MW (DL n.º 151-B/2013, de 31 de Outubro). Nos casos em que estas instalações incidam em áreas sensíveis – as áreas classificadas como protegidas ao abrigo do DL n.º 142/2008, de 24 de Julho, como Sítios da RN2000 e respectivas ZEC e ZPE; e nas “*zonas de protecção dos bens imóveis classificados ou em vias de classificação definidas nos termos da Lei n.º 107/2001, de 8 de Setembro*” – é obrigatória a sujeição do projecto a AIA sempre que a potência do mesmo seja igual ou superior a 20 MW (DL n.º 151-B/2013, de 31 de Outubro). Importa ainda ter em consideração que “*as acções, planos e projectos*” são autorizados desde que se comprove que não afectam a integridade do sítio ou zona em causa (DL n.º 49/2005, de 24 de Fevereiro). Assim, sempre que da AIA resultem impactes negativos para a área sensível em causa, os projectos só podem ser autorizados caso não exista alternativa ou caso se trate de verificado interesse público mediante despacho do ministro competente e da tutela (DL n.º 49/2005, de 24 de Fevereiro).

- **Património edificado:**

- Património arquitectónico e arqueológico:

Com o objectivo de garantir a protecção e valorização dos imóveis classificados, sejam eles, monumentos, conjuntos ou sítios, cujo interesse pode classificar-se como público, nacional ou municipal, é constituída servidão administrativa que condiciona os usos e ocupações a efectuar na envolvente do imóvel, ou seja, nas zonas de protecção definidas e adstritas aos imóveis classificados ou em vias de

classificação (Branco *et al*, 2011). Se por um lado a classificação de um imóvel determina a existência dum conjunto de restrições ao uso, transformação e alienação do imóvel; por outro lado, para além de obrigar o proprietário a efectuar as obras de conservação que a Direcção Geral do Património Cultural (DGPC) identificar, dá a possibilidade aos proprietários de aceder a um conjunto de incentivos para a realização das ditas obras (Lei n.º 107/2001, de 8 de Setembro). Sempre que se trate de imóvel classificado ou em vias de classificação como de interesse nacional ou público as intervenções no imóvel e na Zona Especial de Protecção (ZEP) fixada são sujeitas a parecer da DGPC (Lei n.º 107/2001, de 8 de Setembro). Na área do caso de estudo, os imóveis classificados são os seguintes: Castro da Cola classificado como Monumento Nacional (MN) conforme Decreto de 16-06-1910, de 23 de Junho, cuja ZEP foi fixada pela Portaria n.º 589/1997, de 4 de Agosto; Cerro do Castelo ou Forte de Garvão classificado como Imóvel de Interesse Público (IIP) pelo Decreto n.º 29/1990, de 17 de Julho, sem ZEP fixada até à data; e a Necrópole da Atalaia classificada como MN pelo Decreto n.º 24/2013, de 25 de Julho, cuja ZEP será fixada por portaria (DGPC, 2015).

- **Infra-estruturas:**

- Sistemas de saneamento básico:

Com o objectivo de *“assegurar a protecção sanitária dos canais e depósitos destinados”* ao *“abastecimento de água potável às populações”* e de garantir o bom funcionamento e a protecção das infra-estruturas *“do sistema de drenagem de águas residuais”* é constituída servidão que condiciona a utilização dessas infra-estruturas de água e saneamento, respectivamente, e dos terrenos confinantes (Branco *et al*, 2011). No caso do saneamento básico (onde se incluem as águas e os esgotos) o PDM de Ourique define uma faixa de 5 m para cada lado em relação ao traçado das condutas, colectores e emissários das redes de abastecimento água e drenagem de esgotos, onde está interdita a construção ou plantação de árvores, aumentando a faixa para um valor de 20 m sempre que se trate de espécies consideradas de crescimento rápido. A existência de alguns equipamentos (ETAR, estações elevatórias ou outras) pode implicar o respeito por uma área de protecção, definida nos estudos de localização dos mesmos (Aviso n.º 1534/2014, de 3 de Fevereiro). É ainda necessário ter em consideração que a *“servidão administrativa de aqueduto público subterrâneo”* foi constituída com o objectivo de permitir a realização e protecção das obras relativas às infra-estruturas de abastecimento e saneamento de águas residuais que integram o *“Sistema de Abastecimento Público do Monte da Rocha — Adutora ETA do Monte da Rocha — Reservatório de Garvão”* (Despacho n.º 13298/2014, de 3 de Novembro). Esta servidão implica a ocupação permanente do solo e subsolo numa área de 5502 m², que incide 8 parcelas de terreno rústico do Concelho de Ourique, numa faixa cuja largura total é de 3 m (1,5 m para cada lado medidos do eixo da conduta) e proíbe a *“construção de furos artesianos”* ou *“de qualquer edificação”* e a *“instalação de plantações permanentes”* (Despacho n.º 13298/2014, de 3 de Novembro).

- Rede eléctrica:

*“O carácter de utilidade pública da Rede Eléctrica de Serviço Público e as questões de segurança que lhe estão associadas”* determina a constituição de servidões e restrições relativamente às infra-estruturas de transporte, produção e distribuição de energia eléctrica que incluem a Rede Nacional de Transporte de Electricidade (RNT), a Rede Nacional de Distribuição de Electricidade em Média e Alta



Tensão (RNDMAT) e as Redes de Distribuição de Electricidade em Baixa Tensão (RNDBT) (Branco *et al*, 2011). No caso das linhas eléctricas, o regulamento do PDM de Ourique especifica uma faixa *non aedificandi* de 20 m para linhas cuja potência é de 30 kV e de 50 m para as linhas cuja potência é de 150 kV (Aviso n.º 1534/2014, de 3 de Fevereiro). A servidão relativa às linhas eléctricas, especificamente a faixa *non aedificandi*, deve ser entendida como uma faixa de protecção na qual está interdita a edificação.

- Rede Rodoviária:

As servidões rodoviárias incidem sobre as estradas classificadas ao abrigo do Plano Rodoviário Nacional (PRN) e resultam da necessidade de “*proteger essas vias de ocupações que podem afectar a visibilidade e segurança da circulação*” e de “*garantir a possibilidade de futuros alargamentos*” (Branco *et al*, 2011). Conforme legislação específica em vigor, devem ser garantidas as “*zonas de servidão non aedificandi*” de protecção para as estradas já existentes, que no caso das Autoestradas (AE) é de “*50 m para cada lado do eixo da estrada e nunca a menos de 20 m da zona da estrada*”, no caso dos Itinerários Principais (IP) é de “*50 m para cada lado do eixo da estrada ou dentro da zona de servidão de visibilidade e nunca a menos de 20 m da zona da estrada*”, no caso dos Itinerários Complementares (IC) é de “*35 m para cada lado do eixo da estrada ou dentro da zona de servidão de visibilidade e nunca a menos de 15 m da zona da estrada*”, no caso das Estradas Nacionais (EN) e restantes estradas é de “*20 m para cada lado do eixo da estrada ou dentro da zona de servidão de visibilidade e nunca a menos de 5 m da zona da estrada*” e no caso dos Nós de Ligação contempla “*um círculo de 150 m de raio centrado na intersecção dos eixos das vias, qualquer que seja a classificação destas*” (Lei n.º 34/2015, de 27 de Abril). Ainda assim, a área de protecção mencionada não inviabiliza a possibilidade de vedar os terrenos caso as vedações não ultrapassem os 2,5 m de altura, desde que cumpra as distâncias mínimas fixadas da zona da estrada (7 m no caso dos IP/AE e IC e 5 m no caso das EN e restantes estradas) e de efectuar obras de ampliação ou alteração a edifícios existentes desde que não implique a alteração do tipo de utilização desse edifício, procedimentos que carecem de autorização das Infraestruturas de Portugal, S.A.. (Lei n.º 34/2015, de 27 de Abril). À semelhança das servidões rodoviárias identificadas para a rede nacional, as servidões rodoviárias relativas às estradas e caminhos municipais têm a sua génese na mesma necessidade. Assim, é estabelecida zona *non aedificandi* para as estradas e caminhos municipais que corresponde a uma faixa de 6m e 4,5 m, respectivamente, medida a partir do eixo da via, onde é proibido efectuar quaisquer obras de construção (Lei n.º 2110/1961 de 19 de Agosto). No entanto, ainda que sujeitas a licenciamento municipal, exceptuam-se de proibição as construções dentro dos aglomerados e abrangidas por PMOT, as construções agrícolas simples, as construções efectuadas em encostas de grandes declives, as obras de alteração ou ampliação dos edifícios ou vedações existentes e os muros ou vedações desde que cumpram os requisitos fixados (sejam paralelos às vias e distem 4m a 5 m do eixo da via dos caminhos e estradas, respectivamente) (Lei n.º 2110/1961 de 19 de Agosto).

- Servidões Ferroviárias:

À semelhança das servidões rodoviárias, as ferroviárias foram constituídas por razões de segurança e incidem sobre as infra-estruturas ferroviárias consideradas de domínio público e sobre os terrenos

confinantes (Branco *et al*, 2011). De acordo com a legislação específica em vigor, o uso e a ocupação dos terrenos confinantes são condicionados, sendo estabelecida uma zona *non aedificandi* nunca inferior a 10m das infra-estruturas ferroviárias no que toca a “*construções, edificações, aterros, depósitos de materiais ou plantação de árvores*” ou nunca inferior a 5 m da linha férrea no caso de escavações (DL n.º 276/2003, de 4 de Novembro). Estão, ainda, proibidas nos terrenos confinantes utilizações que possam afectar a normal circulação e segurança do que envolve a estrutura ferroviária, nomeadamente “*de elementos luminosos ou reflectores*” (DL n.º 276/2003, de 4 de Novembro). Já a utilização desses terrenos para fins industriais é possível desde que seja assegurada uma distância de 40 m do local da implantação à linha férrea, pese embora a possibilidade do proprietário do terreno ao qual se aplica esta servidão poder solicitar junto do Instituto Nacional do Transporte Ferroviário (INTF) a redução dessa distância (DL n.º 276/2003, de 4 de Novembro).

- Servidões de telecomunicações:

No que toca às servidões do foro das telecomunicação, justificadas pela necessidade de protecção indispensável, garantia do bom funcionamento e supressão de eventuais obstáculos que possam causar interferências, conforme legislação específica e para a área objecto de estudo, existem servidões radioeléctricas que urge obedecer (DL n.º 597/73, de 7 de Novembro; Branco *et al*, 2011). Assim, foi definida uma zona de desobstrução de 37 m relativa ao troço da ligação entre os centros radioeléctricos da Fóia e Castro Verde, onde é “*proibida a implantação ou manutenção de edifícios ou de outros obstáculos*” (Decreto-Regulamentar n.º 59/1984, de 13 de Agosto).

- Marcos geodésicos:

Os marcos geodésicos têm como objectivo “*assinalar pontos fundamentais para apoio à cartografia e levantamento topográficos*” (Branco *et al*, 2011). Constituem uma servidão administrativa e, conforme legislação específica em vigor, é estabelecida uma área de protecção ao marco geodésico, a qual “*é constituída por uma área circunjacente ao sinal, nunca inferior a 15 metros de raio e*” que deve “*assegurar que as infra-estruturas a implantar não obstruem as visibilidades das direcções constantes das respectivas minutas de triangulação*” (DL n.º 143/82, de 26 de Abril).

Para além disso, a considerar-se a implantação de um projecto fotovoltaico como uma unidade industrial isolada, conforme definido no regulamento do PDM de Ourique, é necessário “*prever uma cortina arbórea de protecção na sua envolvente*”, de forma a reduzir o impacto da instalação no território (Aviso n.º 1534/2014, de 3 de Fevereiro). Paralelamente, caso o projecto solar fotovoltaico seja igualmente considerado como edificação – questão que vai depender da solução construtiva adoptada e do impacto que o projecto pode causar, ou seja, do tipo de painel, instalação e tecnologia, a qual vai ditar o impacto no território e a necessidade de maior ou menor fixador de cada painel, que pode ir duma simples estaca a uma sapata com uma dimensão considerável – é necessário respeitar uma faixa *non aedificandi* de 15 m desde a colocação dos painéis ao limite da parcela de terreno, para as áreas rurais do Concelho de Ourique, à excepção das áreas afectas ao POAMR e ao POASC (Aviso n.º 1534/2014, de 3 de Fevereiro).

Genericamente, o licenciamento dum projecto solar fotovoltaico comporta duas vertentes: o licenciamento da actividade, o qual deve obrigatoriamente ser efectuado junto da Direcção Geral de Energia e Geologia

(DGEG); e a autorização para a realização das obras de construção ou edificação junto da Câmara Municipal competente, possíveis nas figuras de licenciamento e comunicação prévia, precedidas ou não de pedido de informação prévia. Para além disso, mediante as condicionantes, servidões ou elementos tidos como afectados ou existentes na área alvo da pretensão existe um conjunto de entidades que irá pronunciar-se ou emitir parecer sobre a mesma, nomeadamente sobre a necessidade de efectuar determinado tipo de estudos mais específicos. As entidades que devem pronunciar-se sobre a implantação dum projecto solar fotovoltaico é determinada, no fundo, pela localização proposta e, consequentemente, pelas condicionantes existentes e/ou tutela.

Sobre o processo de licenciamento dum projecto solar fotovoltaico deste cariz, em Portugal, importa frisar a sua complexidade e burocratização que, ao interpor um maior e mais avultado número de custos financeiros por períodos temporais mais longos, surge como um factor de desincentivo que urge corrigir pois pode comprometer seriamente a concretização do investimento ou projecto (EPIA, 2014).

### **3.5 Conclusões do capítulo**

A decisão de concretização ou não de determinado investimento é geralmente sustentada por razões técnicas e, essencialmente, económicas. Quando se trata dum projecto solar fotovoltaico para produção de energia, pelos montantes de investimento normalmente envolvidos, pelos avultados lucros esperados, pela crescente evolução tecnológica ao nível dos materiais PV e tecnologias paralelas e pelos impactos associadas, este facto aplica-se na perfeição. Crê-se, portanto, que a decisão de concretização e sucesso dum projecto fotovoltaico depende de factores económicos, relativos à produtividade do sistema e à sua viabilidade económica; e de factores técnicos, referentes à adequabilidade dos locais à implantação deste tipo de investimento, os quais devem reunir as características naturais que garantam a produtividade do sistema com o mínimo de interferências ao nível das condicionantes territoriais e ambientais.

Pela influência que exerce sobre o número e amplitude dos factores considerados de produtividade associados ao sistema PV e das condicionantes territoriais à instalação de projectos desta índole, a localização surge como a questão fulcral para a concretização efectiva do projecto. Em termos práticos, o desafio consiste em implantar estes projectos nas localizações tidas como mais aptas, ou seja, localizações que concentrem o maior número e valoração de factores de produtividade (altos níveis de insolação e radiação solar, declives suaves, orientações óptimas, boas acessibilidades, proximidade a linhas eléctricas, entre outros) e o menor número de condicionantes territoriais identificadas nos IGT e legislação específica em vigor, de forma a, conseguir o rendimento ambicionado com o mínimo de interferências e impactos negativos ao nível dos ecossistemas ambientais, infra-estruturais, culturais e sociais, com os respectivos reflexos positivos ao nível da simplificação dos procedimentos administrativos e de licenciamento, em Portugal (NREL, 2006; EPIA, 2014).

## **4. METODOLOGIA SIG PARA AFERIÇÃO DA APTIDÃO SOLAR FOTOVOLTAICA**

### **4.1 Introdução**

Directamente associada aos principais desafios da sociedade moderna (sociedade da informação, do conhecimento e da inovação) e aliada ao desenvolvimento ambiental, humano, político, social e económico, na sua vertente sustentável, surge a necessidade dum conhecimento efectivo e esclarecido da realidade, possível através da modelação de variáveis que classificam e caracterizam os fenómenos e os meios envolvidos – situações onde a informação geográfica e os SIG, pela evolução tecnológica associada, surgem como peças fundamentais (Afonso, 2008).

Assim, pelo elevado grau de maturidade, de aplicabilidade, de capacidade de processamento e de algoritmos e possibilidades de análise espacial, os SIG constituem ferramentas poderosas e indispensáveis para a avaliação do potencial ou da aptidão espacial de determinado território a determinado fenómeno, neste caso, a geração de energia eléctrica através da tecnologia solar fotovoltaica.

### **4.2 Modelação SIG**

O SIG – objecto de várias definições e interpretações, consoante o contexto de utilização e em função do problema que pretende solucionar – pode definir-se como um sistema constituído por hardware, software, procedimentos, dados / informação e recursos humanos, que permite a captura, gestão, manipulação, modelação e visualização da informação com referenciação espacial, cujo objectivo consiste na resolução de problemas complexos de planeamento e gestão que envolvam a realização de operações espaciais (Cowen, 1988). Tem associadas as funções de: produção, captura e recolha de informação já que disponibiliza diversos métodos de introdução de dados; armazenamento e gestão da informação relacionados com os modelos de dados raster e vectorial; inquirição e validação através de utilitários que apoiam a pesquisa de localizações ou atributos; análise da informação espacial ou alfanumérica, dada a capacidade de responder a questões relativas à interacção das relações espaciais entre múltiplos modelos ou conjuntos de dados; visualização e apresentação da informação com uma vasta simbologia disponível; e *output*, permitindo através de utilitários e serviços de dados a publicação de dados nos mais diversos formatos.

Para cumprimento dessas funções, o SIG integra várias componentes que se relacionam e interagem entre si de forma a atingir um objectivo comum e, que no fundo, condicionam o sucesso, a operacionalidade e o funcionamento do sistema. Neste sentido, o conceito de SIG está associado a um conjunto de processos, executado sobre dados, de modo a produzir informação com referência espacial, sobre uma estrutura pensada ou utilizada por técnicos com recurso a hardware e software. Assegurado que esteja o seu pleno funcionamento, o SIG constitui uma poderosa ferramenta no apoio à tomada de decisões nas mais diversas áreas e organizações.

Existem já alguns estudos, artigos, reflexões e casos de aplicabilidade efectiva dos SIG às diversas temáticas do mundo real, nomeadamente na aptidão solar fotovoltaica, que embora com maior expressão para as áreas urbanas (relacionados com o potencial dos telhados / cobertura dos edifícios) – nomeadamente Šúri *et al* (2007), Santos *et al* (2011) e Gagnon *et al* (2016) – existem também para o contexto rural ou para projectos de grande escala – tal como Gastli *et al* (2010) e McKinney (2014). Em termos gerais, crê-se que o recurso aos SIG's apresenta um conjunto de vantagens, tais como: redução de custos, maior controlo de qualidade dos dados e dos processos, reutilização e rentabilização da informação, difusão da informação disponível, maior capacidade de análise e modelação, normalização, automatização e replicabilidade de processos e modelos de análise e gestão da informação geográfica georreferenciada, as quais se reflectem na melhoria da qualidade dos projectos desenvolvidos e, consequentemente, no aumento da produtividade e operacionalidade (Mendiburu, 2009).

A energia solar PV é uma energia limpa, assumida como livre de poluição, que utiliza como ingrediente uma fonte renovável. O desenvolvimento desta FER e seu aproveitamento requer uma verificação detalhada e temporal do conhecimento e determinação do potencial seja ele energético ou territorial, bem como a identificação das variações espaciais associadas. Neste sentido, o SIG fornece meios expeditos para identificar e quantificar os factores que afectam a energia solar disponível e/ou potencial, proporcionando a flexibilidade necessária para enriquecer a base de dados em que as decisões são baseadas, com dados espaciais e restrições adicionais sobre a disponibilidade de recursos (Ramachandra, 2007). Para além disso, caso a informação pertinente para o cálculo do potencial de energia com recurso ao fotovoltaico tenha uma referência espacial e geográfica associada, mais precisa e fidedigna será a análise de viabilidade do projecto e maior será a robustez da ferramenta (Kenny *et al*, 2006).

O recurso aos SIG, especificamente na temática de energia solar PV, pode oferecer aplicações ou simplificações que permitam a utilização de determinados algoritmos para o cálculo do potencial solar, cálculo da superfície útil, cálculo da energia gerada, cálculo de radiação solar em função da localização geográfica, de um determinado período de tempo, o seu custo potencial. Todos estes cálculos podem, de uma forma mais amigável, tornar-se ferramentas de uso comum ou de uso fácil a utilizadores sem conhecimentos em SIG, ou por outro lado tornar-se mais técnicas e expeditas no caso dos utilizadores especializados (ESRI España, 2009). O SIG está baseado numa estrutura de operações matemáticas análogas às de estatísticas tradicional e álgebra (Goodchild *et al*, 1993). Para além disso, disponibiliza ferramentas que facilitam o tratamento e armazenamento de informação acerca dos recursos energéticos, o estudo e análise espacial dos locais potenciais para implantação de projectos solares fotovoltaicos, por exemplo. São ferramentas computacionais hábeis para operações de geoprocessamento que permitem realizar análises complexas, ao permitir a integração de dados de diversas fontes e possibilitar a criação de uma base de dados com informação georreferenciada ou com referência espacial (Burrough *et al*, 1998).

Através do recurso às tecnologias SIG obtém-se uma base de dados geográfica com referência espacial dos fenómenos representados, a integração das várias fontes de dados bem como de diversas escalas, a

análise comparativa e sobreposta de uma grande diversidade de informação, a manutenção mais fácil e mais rápida da informação e da própria base de dados, possibilitando a melhoria contínua do modelo de dados bem como métodos e ferramentas de análise utilizados, permitindo uma mais rápida e justificada decisão (ESRI España, 2009).

Na ânsia de melhor representar a realidade e justificar as decisões tomadas recorre-se frequentemente à modelação espacial que, por não se encerrar na aplicação analítica das ferramentas seleccionadas deve ser entendida como um processo, que permite a problematização e simulação de determinado fenómeno sobre uma hipotética realidade simplificada e possibilita um maior e melhor conhecimento da realidade e dos fenómenos que nela operam, seus impactos e, portanto, a sustentação de hipóteses de desenvolvimento para os territórios. A modelação espacial pressupõe a adopção de um modelo, entendido como a representação simplificada e sistémica de um sistema do mundo real efectuada com recurso a um conjunto de regras, equações matemáticas e estimativas apuradas, que replica os processos actuais e os fenómenos naturais que operam no mundo real, com capacidade para realçar as características mais importantes e significativas do processo ou fenómeno objecto de modelação. Na mesma linha de pensamento e segundo alguns autores, um modelo pode ser entendido como uma teoria, uma lei, uma hipótese ou uma ideia estruturada, uma regra, uma relação ou uma equação, uma síntese de dados ou informação, que do ponto de vista geográfico inclui um raciocínio sobre o mundo real por meio de transformações no espaço ou no tempo ou com referenciação espacial (Cabral, 2011a).

A necessidade de criação de um modelo justifica-se, essencialmente, pelas vantagens associadas à conceptualização de um problema ou sistema de modo a responder a questões de interesse científico, já que a sua “construção” permite ao técnico / investigador determinar a influência das diferentes variáveis num determinado processo, contribuindo para uma melhor compreensão das relações espaciais entre diferentes elementos que compõem um sistema. Para além disso, reconhecidos são os ganhos da transposição e aplicação directa da modelação em SIG. A construção de um modelo deve ser entendido como um processo contínuo e interactivo, na medida em que, o contínuo e progressivo conhecimento e a aplicação simulada do modelo conceptual desenhado vão permitir a identificação dos pontos fracos do mesmo (se os houver) e a sua correcção com vista à sua melhoria, tendo normalmente várias fases de refinamento de aplicação (Neves, 2011a).

O modelo conceptual adoptado neste trabalho de projecto (figura 16) resulta dos contributos do painel de peritos e da bibliografia temática de referência, e basea-se nas metodologias exemplificadas nos trabalhos de Clifton *et al*, 2010, Gastli *et al*, 2010, de Ignizio, 2010 e de Eldrandaly, 2013, pela proximidade temática, em termos de objectivos, especificidades e características do território a modelar e representar com o presente trabalho de projecto. Incorpora uma abordagem tida como a adequada à aferição da aptidão territorial em termos de tecnologia solar fotovoltaica com recurso aos SIG's e reflecte todas as fases de elaboração deste trabalho de projecto, mesmo as que se perspectivam nos capítulos actual e subsequente. Inclui por isso mesmo uma abordagem geral mas centrada na temática (factores de produtividade solar

fotovoltaico) e, essencialmente, na localização (condicionantes territoriais) como resultado para a aptidão territorial fotovoltaica, onde a modelação em SIG toma uma posição de destaque pelo seu contributo para o resultado final.

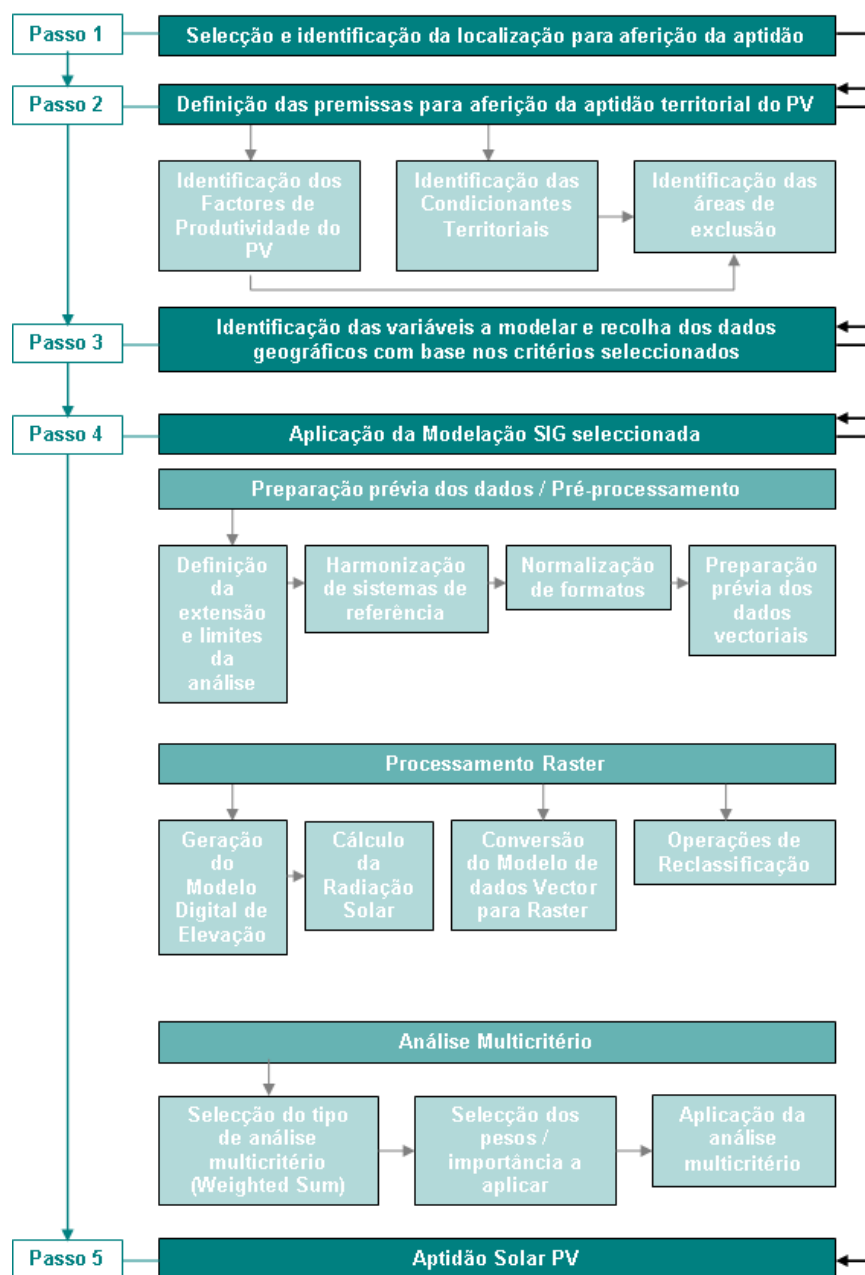


Figura 16 – Fluxograma do cálculo da aptidão territorial fotovoltaica  
Fonte: Elaboração própria (Chaves *et al.*, 2010; Eldrandaly, 2013)

A abordagem metodológica representada no fluxograma está estruturada em 5 passos chave, onde o 1º passo corresponde à selecção da área geográfica para o qual se pretende aferir a aptidão territorial fotovoltaica; o 2º passo corresponde à identificação dos critérios para a mencionada aferição, que inclui a especificação dos factores de produtividade do sistema fotovoltaico, condicionantes territoriais e áreas a excluir da modelação, os quais vão ser fortemente condicionados e determinados pelo passo anterior, especificamente, pela área geográfica em estudo; o 3º passo corresponde à identificação e recolha dos

dados geográficos que materializam, concretizam e representam os critérios definidos no passo imediatamente anterior, tendo em conta que quanto maior a adequação dos dados aos critérios (em termos de cobertura, escala, resolução e qualidade, por exemplo) maior a qualidade e representatividade do modelo e, consequentemente, melhor e mais adequado à realidade será o resultado; o 4º passo congrega toda a modelação em SIG a executar, organizada por fases, incluindo a preparação prévia dos dados recolhidos no passo 3 em termos de adequação à área geográfica, ao sistema de referência e ao formato e modelo de dados adoptado, o processamento raster dos principais temas de entrada no modelo de acordo com os factores de produtividade e operações de reclassificação dos restantes temas, incluindo as áreas de exclusão e as condicionantes; e o 5º e último passo corresponde à obtenção do resultado, ou seja, à aptidão territorial do território seleccionado em termos solares fotovoltaicos, cuja qualidade vai depender, genericamente, da adequação do modelo ao objectivo e da adequação dos dados ao modelo. Este fluxograma reflecte uma tentativa de definição de um modelo passível de aplicação a qualquer território, sendo que as especificidades desse território irão, na fase de identificação e recolha dos dados geográficos, ditar a quantidade e abrangência dos factores de produtividade, condicionantes territoriais e áreas de exclusão a modelar.

O modelo conceptual supra-apresentado foi pensado para ser de aplicação directa e facilitada em ambiente SIG, com implementação com o software *ArcGIS 10.2*, especificamente com o *Model Builder* e algumas das ferramentas da extensão *Spatial Analyst* (*Solar Radiation*, *Surface*, *Reclassify* e *Overlay*), devido à acessibilidade no âmbito deste mestrado, facilidade de uso e ferramentas disponíveis. Não significa isto que aplicação da metodologia com recurso a outros softwares SIG sejam eles de carácter proprietário, comercial, *open source* ou gratuitos, não seja possível, apenas não foram contemplados neste trabalho de projecto.

Conforme fluxograma supra apresentado, a modelação SIG propriamente dita e a realizar em software SIG, está prevista no passo 4 e congrega em si um conjunto de operações organizadas por sub-passos que incluem a preparação prévia dos dados, processamento raster e análise multicritério. Todas as operações são, de facto, determinantes e imprescindíveis na obtenção do resultado final. No entanto, optou-se por abordar, nos pontos seguintes, as operações que no seio do modelo são as mais importantes, pela influência ou peso que representam, ou podem representar, no âmbito da aptidão solar fotovoltaica com recurso aos SIG's.

#### **4.3 Pré-processamento**

O Pré-processamento é a fase posterior à recolha e aquisição dos dados previamente identificados de acordo com as premissas do trabalho decorrentes da localização e objectivo do trabalho. Importa, referir que, genericamente, cerca de 60 a 80% dos custos de implementação de um projecto em SIG estão relacionados com a aquisição dos dados (questão que consome normalmente a maior fatia do orçamento), compilação dos dados e desenvolvimento de uma base de dados do projecto (Buckley, 1998).



A imperatividade de realização de uma fase de preparação prévia dos dados é transversal a todos os projectos em ambiente SIG, independente da temática ou objectivo dos mesmos, facto justificado pela grande diversidade de dados de entrada num modelo e pela função que esses dados pode assumir no âmbito de determinada metodologia (desde dados de base, a dados obtidos por derivação de operações SIG sobre os dados de base, a dados de interpretação que representem resultados da metodologia aplicada).

A fase de Pré-processamento integra todas as operações iniciais relativas à preparação prévia dos dados para aplicação da modelação em SIG adoptada. Normalmente referida como a fase que requer mais tempo e que se revela de grande utilidade no âmbito dum projecto em SIG, pois é determinante para a qualidade e confiabilidade dos produtos derivados e, consequentemente, do resultado obtido, numa óptica de minimização da propagação dos erros incorridos. Em média, as tarefas de tratamento, preparação, limpeza e verificação dos dados de entrada no modelo consomem cerca de 60 a 80% do tempo necessário para completar o projecto em SIG, com reflexo nos custos de implementação (tradução livre de Buckley, 1998).

No caso da aferição da aptidão territorial fotovoltaica, a situação não é diferente. Os dados de base e de entrada no modelo que devem reflectir os critérios identificados em termos de factores de produtividade, condicionantes territoriais e áreas de exclusão determinadas em função da localização seleccionada, como está patente no capítulo 3 revelam uma grande diversidade temática, de proveniência, de fontes, de entidades, com lógicas de produção, escalas, resoluções, sistemas de referência e formatos diferentes entre si. Para que possam ser modelados com recurso à metodologia seleccionada necessitam de ser submetidos a um conjunto de operações de preparação e tratamento que vão desde a adequação à extensão territorial da área seleccionada, harmonização dos diferentes sistemas de referência com a adopção inequívoca daquele que se considera ser o mais adequado à localização e objectivos do projecto e à normalização de formatos de dados, com reflexos ao nível da qualidade do resultado obtido.

Para além disso, nesta fase estão também incluídas operações de processamento vectorial, isto é, um conjunto de tarefas relativas à preparação de cada tema de entrada no processo como as operações relativas ao modelo de dados vectorial, em específico as operações de selecção e geoprocessamento que se revelem necessárias para a fase seguinte, nomeadamente, a geração de *buffers* (procedimento que permite a partir de uma determinada geometria criar polígonos tampão de acordo com uma distância pré-definida), úteis para a criação das áreas de protecção definidas, as quais têm usos compatíveis ou incompatíveis com projectos solares fotovoltaicos, por via da aplicação das condicionantes territoriais, que podem revelar-se áreas de exclusão (ESRI, 2014).

#### **4.4 Processamento Raster**

Uma vez assumido previamente o recurso aos SIG's no desenvolvimento deste trabalho de projecto, dadas as vantagens associadas desta tecnologia na resposta ao “*problema*” que me propus resolver – cálculo da

aptidão solar fotovoltaica do território aplicado ao caso de estudo – tornou-se imprescindível equacionar o modelo de dados e o tipo de dados a adoptar, já que *“o objectivo do modelo a desenvolver determina o tipo de modelação e por conseguinte o tipo de dados que suporta”* e o modelo, estrutura e formato de dados utilizado *“influencia decisivamente o fluir do trabalho em SIG, incluindo a organização, apresentação e análise da informação geográfica”* (Cabral, 2011a; Neves, 2011a).

Genericamente, existem dois tipos de modelos de dados utilizados na representação geográfica do espaço, num ambiente dito digital, os quais comportam inúmeras estruturas de dados: o modelo vectorial, onde a representação da realidade, fenómenos ou elementos é efectuada com recurso a pontos, linhas ou polígonos, onde a localização exacta em termos de coordenadas das entidades espaciais e a topologia assumem destaque, estando geralmente associado a processos de capacidades mais limitadas; e o modelo raster, onde a representação da realidade, fenómenos ou elementos é efectuada com base numa estrutura de dados *grid* composta por um conjunto de células em quadrícula regular, onde cada célula corresponde a uma entidade, identificadas por linha e por coluna, onde o tamanho das células dita a precisão e resolução do raster (Buckley, 1998; Neves, 2011b).

Se por um lado existem variáveis espaciais com fronteiras rígidas e claramente definidas e identificáveis no território, por outro lado, existem variáveis espaciais cujas fronteiras são difusas e apresentam uma distribuição contínua ao longo do território. Os modelos de dados espaciais, considerados como abordagens para armazenar a localização espacial das características geográficas numa base de dados, cujo objectivo intrínseco está associado à representação mais aproximada da realidade e dos fenómenos, reflectem o supramencionado (Buckley, 1998). Por isso mesmo, dos modelos de dados mencionados, pela estrutura de dados que comportam e análises e modelações que possibilitam, o vectorial é tido como o mais adequado para representar as entidades geográficas discretas, enquanto que o raster / matricial é considerado como o mais adequado para representar as entidades geográficas contínuas (Cabral, 2011a; Cabral, 2011b; Neves, 2011b).

Ambos os modelos de dados têm associados vantagens e desvantagens decorrentes das suas características intrínsecas, dos objectivos da modelação e das possibilidades ou processos de modelação disponibilizadas pelos softwares. O desafio consiste na adequação entre a selecção e adopção de determinado modelo de dados aos dados, à modelação e ao objectivo do trabalho a desenvolver, sendo certo que a adopção de determinada estrutura de dados em detrimento de outra, durante uma determinada fase ou estágio de análise, pode revelar-se mais vantajosa e adequada (Buckley, 1998).

Assim, tendo em consideração:

- as características, tipologia e formato de um dos principais dados de base / entrada do modelo de aptidão solar adoptado (o modelo digital de elevação – comumente referido como exemplo no que toca a entidades geográficas contínuas – a derivar de imagem de satélite, cuja descrição e método de obtenção será abordado posteriormente);

- o tipo de dados de entrada e de saída do procedimento e metodologia adoptada para o cálculo da radiação solar, com recurso ao *Area Solar Analyst* da extensão *Spatial Analyst* do ArcGIS (a partir do modelo digital de elevação supramencionado);
- as possibilidades de processamento, análise e álgebra de mapas permitidas;
- o tipo de dados de entrada e de saída do procedimento de análise multicritério adoptado (*Weighted Sum* da extensão *Spatial Analyst* do ArcGIS);

O modelo de dados adoptado na modelação SIG desenvolvida neste trabalho de projecto é, essencialmente, o modelo matricial / raster, por ser o mais adequado ao objectivo do projecto, ao tipo de dados de entrada que o modelo problematiza e por permitir processos de modelação dos dados mais sofisticados. Conforme o mencionado, e uma vez que a aptidão solar fotovoltaica, por não ter fronteiras ou limites claramente identificáveis ou definidos no terreno, assume-se como uma entidade geográfica contínua no espaço, o tipo e o modelo de dados mais adequado à aferição SIG neste trabalho é o raster, estrutura essa que “*é, para a maior parte dos casos, a que melhor retrata a natureza, sendo a mais adequada para o desenvolvimento (concepção e implementação) de um modelo*” (Cabral, 2011a; Cabral, 2011b).

No entanto, conforme mencionado no ponto anterior, o modelo de dados vectorial é utilizado na realização de operações de pré-processamento necessárias e imprescindíveis ao tratamento e preparação de determinados dados de entrada no modelo de aferição SIG da aptidão solar fotovoltaica adoptado neste projecto.

Os modelos não são inócuos e uma vez que entendidos como modelos que tentam representar a realidade ou parte dela tão bem quanto o possível incluem sempre erros decorrentes da qualidade, adequação e especificação dos dados, do tipo e modelo adoptados ou utilizados, com reflexos na qualidade do resultado. No entanto, esses erros, sempre que conhecidos e após validação do modelo, devem ser entendidos como um mal menor dada a vantagem associada à utilização da modelação espacial, dos SIG's e da informação geográfica na simplificação das realidades complexas e na determinação de hipóteses no estudo dos fenómenos e na facilidade de aplicação, replicação e afinação de metodologias (Cabral, 2011a; Neves, 2011a).

O Processamento Raster é um sub-passo dentro do passo 4 que engloba a conversão do modelo de dados de vector para raster, a geração do modelo digital de elevação, o cálculo da radiação solar e um conjunto de operações de reclassificação dos restantes temas que cobrem os critérios da aferição da aptidão territorial fotovoltaica identificados.

A conversão do modelo de dados através do menu *Conversion Tools* do ArcGIS, permite a conversão de dados do tipo vectorial para o tipo raster, a partir de um conjunto variado de fontes ou geometria, tornando-se especialmente útil para a normalização do tipo de dados de entrada no modelo, frequentemente utilizada para os temas das linhas eléctricas, rede viária, temas que caracterizam a sensibilidade ambiental ou o uso do solo, desde as condicionantes territoriais às áreas de exclusão da análise. No âmbito do processo de

conversão do modelo de dados, de vector para raster, o conhecimento efectivo da exactidão dos dados a converter revela-se imperativo, pois, uma vez que o software SIG permite a especificação do tamanho da célula a gerar, está garantida a adequação entre a precisão original dos dados e a resolução do tema convertido, minorando os erros introduzidos no modelo (Buckley, 1998).

Para além da criação do modelo digital de elevação e do cálculo da radiação solar – normalmente tidas como as informações mais importantes na entrada do modelo de aferição da aptidão territorial fotovoltaica – existem outros dados de entrada no modelo que se revelam importantes e transversais nos diversos estudos nesta matéria, tais como, a proximidade às linhas eléctricas e a acessibilidade rodoviária, cuja importância pode corresponder a 20% (tendo em conta que a construção de uma nova linha pode ser um processo caro, demorado e burocrático) e a 10%, respectivamente (Carrión *et al*, 2008; Ignizio, 2010; Tisza, 2014). Esta informação pode ser calculada através da ferramenta *Euclidean Distance*, do menu *Distance* da extensão *Spatial Analyst* do ArcGIS, que permite o cálculo das distâncias para cada célula do raster com base num máximo ou intervalo definido (ESRI, 2014).

Por conseguinte, e de forma a preparar a informação para a análise multicritério a aplicar a seguir, a informação de base, embora preparada, convertida, normalizada e harmonizada pode estar ainda com escalas e medidas de análise diferentes. Surge então a necessidade de efectuar operações de reclassificação dos temas de entrada, tantas quantas as camadas ou layers de informação existentes a considerar no modelo, para uma escala comum de intervalos, permitindo já uma conjugação da informação e seus atributos com o grau de aptidão. Esta escala é normalmente de número ímpar (3, 5, 7 ou 9) em que o 0 indica a menor aptidão e valor mais elevado da escala indica a maior aptidão (Clifton *et al*, 2010; Ignizio, 2010; Tisza, 2014).

#### **4.4.1 Modelo Digital de Elevação**

O modelo digital de elevação (MDE) é entendido como uma forma simplificada para representar, de forma aproximada, determinada área da superfície da Terra em termos topográficos, criando uma superfície contínua através de uma quantidade finita de pontos ou observações armazenadas em formato digital, num raster ou numa camada vectorial, onde a resolução e a distância entre os pontos adjacentes da grelha são parâmetros importantes (Goodchild *et al*, 1990; Neves, 2011c). Enquanto modelo tridimensional da superfície terrestre, o MDE, contém, portanto, informação relativa à latitude, longitude e altitude da área representada, ou seja, as coordenadas x, y e z (Nemes *et al*, 2011; Neves, 2011c; Geocommunity, 2014; USGS, 2015).

Na sociedade actual, dita digital e tecnológica, onde a disponibilidade de informação é cada vez maior, os MDE's, ou mesmo a informação e dados de base, os métodos e o software para a sua elaboração, apresentam uma maior disponibilidade (embora algumas vezes mediante pagamento, e mesmo assim, algumas resoluções não estão acessíveis ou não existem), com um grau de cobertura muito maior para a

superfície do globo terrestre e com uma maior acessibilidade (embora algumas vezes condicionada, existem já instituições que disponibilizam determinada informação gratuitamente) (Nemes *et al*, 2011; USGS, 2015).

Existem, essencialmente, dois métodos para a obtenção de MDE: 1. a partir de conjuntos vectoriais de pontos provenientes de observações regulares ou curvas de nível, que pode incluir o *scanning*, digitalização e vectorização da informação sobre uma carta topográfica, onde são conhecidas as coordenadas geográficas de posição x, y e z aos quais é atribuído o valor correspondente de elevação a partir de um conjunto de informação adicional e auxiliar no processo de modelação da superfície topográfica (como hidrografia, linhas de costa, etc.), seguido da aplicação do algoritmo de interpolação para obtenção do resultado final; 2. a partir de fotografias aéreas, através de processos manuais ou automáticos, que inclui o recurso a operações de conversão e interpretação de informação acerca da elevação da superfície terrestre organizada e estruturada numa *grid* regular onde são conhecidas as coordenadas geográficas de posição x,y e z (Goodchild *et al*, 1990; Neves, 2011c).

De acordo com o mencionado, a selecção do método para a geração do MDE depende, em larga escala, da informação de base disponível para a sua elaboração, tendo em atenção que essa informação deve estar adequada (em termos de escala, cobertura e resolução) à complexidade do território que pretende representar. Se por uma lado, a opção recair sobre um conjunto de imagens de satélite (opção frequentemente utilizada pela acessibilidade, cobertura e resolução espacial, espectral e temporal dos dados já disponibilizados por um conjunto de entidades fruto da “abertura” da Detecção Remota à sociedade civil ou técnica) então o MDE está já criado e as operações necessárias poderão cingir-se apenas à normalização do sistema de coordenadas, à sobreposição da informação com o território em análise e à interpretação dos dados (ESRI, 2014).

Se por outro lado, a informação de base para a geração do MDE for um conjunto de informação vectorial (curvas de nível ou pontos cotados) proveniente de cartografia oficial ou homologada, a ferramenta *Create TIN*, do separador *TIN* da extensão *3D Analyst Tools*, do software ArcGIS pode ser a opção mais adequada, seguida da posterior conversão do resultado para o modelo de dados raster, se assim se entender. A título de enquadramento importa referir que o *Triangulated Irregular Network* (TIN) é um modelo amplamente utilizado e integrado nos softwares SIG desde a década de 80 e tem como objectivo a representação da morfologia da superfície terrestre, nomeadamente a sua topografia, baseado no modelo de dados vectorial e gerada através da triangulação de um conjuntos de pontos ou observações, com recurso a diferentes métodos de interpolação, nomeadamente o método de triangulação *Delaunay* (Goodchild *et al*, 1990; ESRI, 2014). Embora descrito como uma alternativa ao MDE em formato raster pela simplicidade que lhe é característica tem associado um conjunto de operações com um certo grau de complexidade (desde a selecção dos pontos de amostragem, à conexão dos pontos ou à forma como é modelada a superfície no interior de cada triângulo), opções as quais requerem o conhecimento do técnico analista pela sua influência no resultado (Goodchild *et al*, 1990). Para além disso, têm, normalmente, associados custos mais elevados

relacionados com os valores dos dados, o que condiciona a sua disponibilidade quando comparados com os MDE em formato raster (ESRI, 2014).

Os MDE's são gerados com diversos objectivos e aplicações, principalmente, para determinar e caracterizar a topografia de determinada área (declives, inclinação, exposições), para localizar determinados recursos no território (bacias hidrográficas, acidentes geográficos, redes de drenagem, por exemplo) e para a modelação de funções hidrológicas, fluxos de energia e incêndios florestais (Goodchild *et al*, 1990; Chrysoulakis *et al*, 2004; Neves, 2011c).

Tendo em consideração o referido no capítulo anterior, relativo aos factores que condicionam a produtividade do sistema solar fotovoltaico para a geração de energia, a topografia surge como um dos elementos determinantes para a aptidão territorial fotovoltaica, em específico o declive, quer pela influência que exerce nos níveis de radiação, insolação e condições climáticas de determinada localização, quer pela influência que pode exercer na implantação do projecto em si, pese embora a evolução associada à tecnologia fotovoltaica em termos de execução técnica e efectiva no terreno. Daí que, conforme bibliografia de referência, áreas que revelem uma topografia suave, caracterizadas por declives mais baixos (abaixo de 5%) são, usualmente, entendidas como mais favoráveis à implantação de projectos solares fotovoltaicos (CH2M HILL, 2008; Charabi *et al*, 2011; EGA *et al*, 2011a). Para além disso, no âmbito da análise multicritério em matéria de aptidão territorial fotovoltaica, aos declives é frequentemente atribuído o maior peso pela influência que esta questão tem no resultado final (Ignizio, 2010).

Posto isto, torna-se fundamental para o processo de avaliação da aptidão o conhecimento dos valores do declive, de forma a permitir uma caracterização da topografia da localização seleccionada, cujo resultado deve incluir a adopção de uma organização em classes, as quais devem reflectir a priorização dos baixos declives, facilitando, portanto, a identificação das áreas mais aptas e menos aptas de acordo com a escala e valores de referência (Dahle *et al*, 2008; Clifton *et al*, 2010; Ignizio, 2010).

Para além dos declives, no processo de avaliação da aptidão territorial fotovoltaico, é igualmente necessário obter informação relativa à orientação das encostas, organizada por classes que reflectam a priorização das exposições mais favoráveis para a localização alvo do estudo (Hott *et al*, 2012; Dahle *et al*, 2008; Gastli *et al*, 2010). Esta informação, à semelhança dos declives, é, normalmente, derivada do MDE. Os mapas de declives e de exposições, derivados de forma relativamente simples do MDE, não são tão precisos como a informação de base pois representam uma organização das células do raster em áreas cujos valores correspondem e são categorizados numa determinada classe de valores (Goodchild *et al*, 1990).

No ArcGIS existem, pelo menos, duas ferramentas que permitem a obtenção de uma carta de declives baseado na derivação do MDE: *Slope* do *Surface Tool* da extensão *Spatial Analyst* que “identifica o declive para cada uma das células do raster” cujos valores podem ser expressos em graus ou percentagem; e *Surface Slope* do *Triangulated Surface* da extensão *3D Analyst Tools* que “cria um conjunto de polígonos

que representam intervalos de valores de declives para superfícies triangulares, correspondentes às classes adoptadas, em graus ou em percentagem”; e, pelo menos, outras duas ferramentas que permitem a obtenção da orientação ou exposição também por derivação do MDE: *Aspect* do *Surface Tool* da extensão *Spatial Analyst* que “*deriva a orientação ou exposição da superfície representada no raster*” cujos valores são expressos em graus positivos de 0 a 359,9 no sentido horário do hemisfério norte; e *Surface Aspect* do *Triangulated Surface* da extensão *3D Analyst Tools* que “*cria um conjunto de polígonos que representam intervalos de valores de orientação e exposição das superfícies triangulares*” – cuja utilização depende do modelo de dados adoptado nesta fase de trabalho (se matricial ou se vectorial, respectivamente) ou do método de geração do MDE (tradução livre de ESRI, 2014).

No caso da ferramenta *Slope* do *Surface Tool* da extensão *Spatial Analyst* do ArcGIS, é necessário ter em atenção que o tempo de execução está dependente da resolução dos dados ou a resolução adoptada para o procedimento. Como tal, muitas vezes a resolução do resultado pode ser um compromisso entre a obtenção de resultados altamente precisos e o tempo de processamento da ferramenta (Gastli *et al*, 2010).

Conforme o supramencionado, vários são os métodos para a geração de um MDE e informação derivada, sendo certo que o método tido como mais apropriado deve contemplar a adequação entre os dados disponíveis ou disponibilizados, a resolução, o objectivo do trabalho em causa e as características do terreno alvo de modelação, reflectindo, muitas vezes, uma relação de compromisso através do conhecimento efectivo das vantagens e desvantagens da sua utilização e sua influência no resultado final. Por outro lado, a resolução do MDE deve estar adequada à escala da análise, às características da área geográfica em questão e ao objectivo do trabalho, de forma a não comprometer a precisão do resultado, tendo em conta que, terrenos cujos declives são mais acentuados ou mais acidentados requerem mais pontos de amostragem e observação, logo maiores resoluções, de forma a representar melhor a complexidade do terreno (Gastli *et al*, 2010; Neves, 2011c).

#### **4.4.2 Cálculo da Radiação Solar**

À semelhança do MDE, o conhecimento efectivo dos valores de radiação solar surge como condição *sine qua non* para a avaliação da aptidão territorial fotovoltaica. Tida como uma das variáveis mais importantes na aptidão territorial fotovoltaica (a par do MDE), no fundo são os valores de radiação solar e insolação que vão determinar, em primeira análise, se faz sentido avançar com o estudo ou investimento em causa (Ignizio, 2010; Tisza, 2014). Por isso mesmo, é frequente que estudos de caracterização da radiação solar antecedam o desenho e concretização dum projecto solar fotovoltaico.

A radiação solar é a principal “*fonte de energia primária que impulsiona muitos dos processos físicos e biológicos da Terra*” e o “*dado*” principal de entrada no processo de conversão fotovoltaico para a geração de energia, cujos valores são afectados pela topografia, características da superfície terrestre, localização (latitude), pelo tempo, dia e época do ano (ESRI, 2014). A radiação solar global é entendida como a soma

das radiações directa, difusa e reflectida, apresentadas por ordem decrescente de importância ou de componentes (Gastli *et al*, 2010; ESRI, 2014).

Vários são os métodos para o cálculo ou obtenção da radiação solar, dependentes muitas vezes da disponibilidade de informação, instrumentos, medições, financiamento, da cobertura dos dados ou mesmo do método de aquisição (Carrión *et al*, 2008). Embora a grande maioria recorra a software SIG, existe já um conjunto bastante variado de softwares de computador que permitem o cálculo da radiação solar de determinada superfície, da terra ou do edificado. Para além disso, diversas são também as aplicações e mapas de radiação solar disponibilizados por diversas entidades (desde municípios a organismos do estado ou empresas) para uma cobertura cada vez maior da superfície terrestre e com uma resolução embora ainda não a mais adequada, mas a suficiente para determinados tipos e escalas de análise (Leitelt, 2010).

Assim, se por um lado, a radiação solar de determinado território pode ser obtida através de medições e observações de campo (ou por derivação das medições baseada em técnicas de interpolação, nomeadamente, *spline*, *weighted average procedures* ou *kriging*, de forma a garantir uma maior cobertura dos dados), provenientes de estações meteorológicas com instrumentos parametrizadas, cujos valores, após processamento e tratamento por climatologistas, podem ser analisados com recurso a técnicas de análise matemática, estatística ou empírica, com recurso aos SIG's, tal como em Ramachandra *et al* (2007) e como o projecto do IPES *et al* (2014) que equipou as estações meteorológicas existentes com instrumentos (piranómetros) capazes de medir de forma fiável e confiável a radiação solar nos municípios do Alto Alentejo, num determinado período temporal (Hofierka *et al*, 2002; Chrysoulakis *et al*, 2004). No entanto, para territórios em que a topografia seja complexa pode ser necessário complementar a análise com informação adicional proveniente de imagens de satélite, na tentativa de melhorar a qualidade e adequabilidade do produto às características da área alvo de análise, com recurso, portanto, a uma abordagem *co-kriging* (Hofierka *et al*, 2002).

Por outro lado, pode ainda recorrer-se a um repositório de informação acerca da radiação solar em formato raster, nomeadamente, o *National Renewable Energy Laboratory* (NREL), conforme trabalhos de Hott *et al*, (2012) e Ignizio (2010) ou o PVGIS, conforme exposto no trabalho de Carrión *et al* (2008), cuja radiação solar resulta da aplicação do modelo *r.sun* – modelo que em traços gerais foi desenvolvido em o software *open source* GRASS GIS, com o propósito de ultrapassar as limitações de modelos de geração de radiação solar existentes, contemplando, portanto, todos os parâmetros da radiação solar global (directa, difusa e reflectida) e permitindo definições ao nível da nebulosidade, especialmente desenvolvido para grandes regiões caracterizadas por forte variabilidade espacial da radiação solar (Hofierka *et al*, 2002; PVGIS, 2015).

Em alternativa, a radiação solar pode ser obtida com recursos às ferramentas dos softwares SIG e a partir de um MDE em formato raster, conforme o trabalho de McKinney (2014). Tendo em conta a disponibilidade e acesso relativamente fáceis a imagens de satélite cuja resolução temporal, espacial e espectral são cada vez mais adequadas a este tipo de tarefas, esta é vista como uma alternativa muitas vezes viável para



situações em que não existem medições de radiação em campo ou cujo acesso é vedado ou restrito, ou a cobertura das observações é tida como insuficiente para o grau de detalhe necessário ao objectivo do trabalho, em muito justificado pela escassez de estações de medição e pelos elevados custos associados à obtenção de dados através de sistemas mais sofisticados (Carrión *et al*, 2008). Para além disso, este método – leia-se o recurso a imagens de satélite – é o recomendado pela *World Meteorological Organization* para situações cujo objectivo consiste na avaliação da distribuição espacial da radiação solar, pois pese embora os resultados sejam menos precisos em comparação com medições e observações de campo apresenta vantagens ao nível da cobertura espacial e temporal da informação de base (Carrión *et al*, 2008). No entanto, é necessário ter em conta que a resolução do MDE vai determinar a qualidade do resultado obtido (Hofierka *et al*, 2002; Chrysoulakis *et al*, 2004).

Uma das formas de aplicar este método é através da ferramenta *Área Solar Analyst* da extensão *Spatial Analyst* do ArcGIS, que permite calcular a radiação solar para determinado território, para períodos de tempo específicos, considerando os efeitos atmosféricos, a latitude, a altitude, os declives, a orientação, diárias e sazonais relativamente ao efeito do Sol e o efeito das sombras projectadas na topografia do território considerado, a partir de um raster, especificamente um MDE (Gastli *et al*, 2010; ESRI, 2014; Tisza, 2014). O cálculo da radiação solar com recurso a esta ferramenta deve ser entendido como um processo que inclui um conjunto de etapas, conforme o esquematizado na figura 17, do qual podem resultar um conjunto de rasters (da radiação solar global, directa, difusa e do número de horas de radiação directa) do tipo *floating-point* sendo a radiação expressa em Wh/m<sup>2</sup> (Gastli *et al*, 2010; ESRI, 2014).

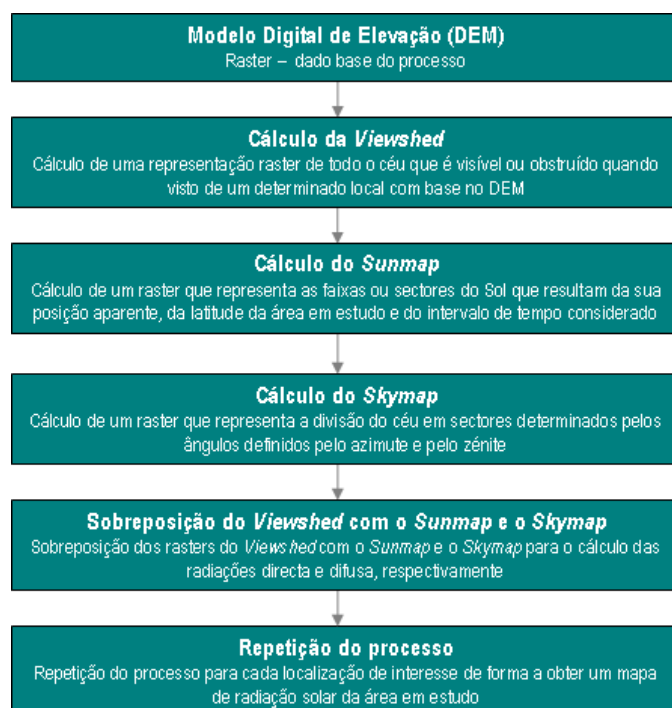


Figura 17 – Cálculo da radiação solar com base num MDE com recurso ao ArcGIS  
Fonte: Tradução livre de Gastli *et al*, 2010

Conforme mencionado, esta ferramenta permite a especificação de um conjunto de informação geral, como:

- a latitude da área de análise que vai ser utilizada no cálculo da declinação e posição solar, podendo ser especificada em graus (positivos para o hemisfério norte e negativos para o hemisfério sul), cujo valor padrão é 45°, embora possa ser derivada do MDE georreferenciado (onde é recomendada a utilização de metros como a unidade de medida do sistema de referência), sendo aceitável um único valor de latitude para todo o MDE quando a escala de análise é local, o que para análises regionais pode ser benéfico dividir a área de estudo em zonas de acordo com as diferentes latitudes;
- o tamanho ou resolução do *viewshed*, *sky map* e do *sun map grids*, medido em células, cujo valor padrão é de 200 assumido como suficiente para MDE's com intervalos de dias grandes (superior a 14 dias), sendo aconselhado utilizar valores superiores para intervalos de dias menores (inferior a 14 dias), tendo sempre em atenção que o aumento da resolução proporciona resultados mais precisos mas requer mais tempo de processamento e execução;
- o período de tempo para o qual é calculada a radiação solar, que pode ser especificado em horas, dias ou intervalo de semanas e meses, permitindo uma selecção da configuração do tipo de horário a utilizar;

Topográfica, como:

- o factor z utilizado para corrigir cálculos quando as unidades z e da superfície diferem, cujo valor padrão é 1, sempre que o x, y e o z têm as mesmas unidades de medida que a superfície;
- os declives e as orientações, que podem ser incluídas na análise a partir do MDE que coincide com o raster de entrada ou que podem ser considerados 0;
- as direcções de cálculo do mapa de *viewshed*, cujos valores devem ser múltiplos de 8 (ou seja, 8, 16, 24, 32, e por aí em diante), assumindo-se que 8 ou 16 são adequados a territórios cuja topografia é suave e valores de 32 mais adequados para territórios caracterizados por uma topografia complexa, embora o valor a especificar esteja também dependente da resolução do MDE de entrada, ou seja, para MDE's com uma resolução de 30m e cujo terreno seja suave os valores das direcções podem situar-se entre 16 e 32, enquanto que para MDE's com uma maior resolução (inferior a 30m) o número de direcções necessita de um valor superior a 32, com influência ao nível da precisão e do tempo de cálculo;

E de parâmetros de radiação, como:

- o número de divisões na vertical, em relação ao zénite, utilizadas para criar o *sky map*, cujo valor padrão é 8, devendo sempre ser maior que 0 e menor que metade do valor do tamanho do céu;
- o número de divisões na horizontal, em relação ao Norte, utilizadas para gerar os sectores no *sky map*, cujo valor padrão é 8, sendo aceites valores múltiplos de 8 desde que dentro do intervalo 0 a 160;
- o tipo de modelo de radiação difusa, cujas possibilidades são modelo difuso uniforme, onde a radiação difusa é a mesma em todas as direcções do céu (modelo padrão), ou modelo difuso nublado, onde a radiação difusa vai variar de acordo com o ângulo do zénite;
- a proporção do fluxo radiação solar que é difusa, variando os valores de 0 a 1, cujos valores de 0,2 são utilizados para condições de céu muito limpo e 0,3 para céu geralmente limpo, reflectindo, portanto, as condições atmosféricas;

- o efeito da transmissividade da radiação solar, usualmente entendido como a “*fracção da radiação que passa através da atmosfera*”, cujos valores variam de 0 a 1, sendo normalmente assumidos os valores de 0,5 para o céu geralmente limpo e 0,6 ou 0,7 para condições de céu muito (Leitelt, 2010; ESRI, 2014; Tisza, 2014).

Esta ferramenta apresenta, como principais limitações o facto de incluir apenas uma única constante acerca da atenuação atmosférica da radiação solar (a transmissividade); o facto de considerar a radiação solar global como a soma das radiações directa e difusa, ou seja, não incluindo a componente reflectida da radiação (Clifton *et al*, 2010; Gastli *et al*, 2010; Leitelt, 2010). Para além disso, e uma vez que o tempo de execução da ferramenta está dependente, essencialmente, dos valores assumidos e especificados em determinados parâmetros, na resolução do raster de entrada e nas capacidades de computação (processamento e memória), convém que os parâmetros utilizados no cálculo estejam correctos e sejam equacionados previamente, numa óptica de adequação às especificidades do território em análise e de solução de compromisso entre o resultado e o tempo útil de execução, o qual pode ser calibrado com recurso a dados observados, preferencialmente numa base mensal (ESRI, 2014; Tisza, 2014).

#### 4.5 Análise Multicritério

Nos últimos anos têm-se assistido à proliferação da utilização dos SIG's, senão mesmo à sua vulgarização, nas mais diversas áreas e com os mais diversificados objectivos, como sistemas de apoio ou em suporte à decisão, num mundo cada vez mais digital e tecnológico, na tentativa de resolver problemas complexos de localização, aptidão e optimização de recursos (Ignizio, 2010; Eastman, 2012; Julião, 2012).

Neste sentido, o processo de decisão deve ser entendido como um processo lógico que resulta de uma escolha entre um conjunto de alternativas de acordo com determinados critérios estabelecidos com o objectivo de encontrar uma solução mais adequada para o problema em estudo. Neste contexto, os critérios não são mais que evidências sobre determinado fenómeno que podem ser medidas ou avaliadas numa escala comum, e que, de acordo com a sua classificação (factor – entendido como o critério que aumenta ou diminui a aptidão de uma alternativa específica para a actividade ou problema em análise ou constrangimento – entendido com o critério que serve para limitar ou restringir as alternativas em consideração), ou peso vão influenciar determinada decisão (Carrión *et al*, 2008; Eastman, 2012).

Num processo de tomada de decisões em que se recorra a métodos de análise multicritério é necessário ter em atenção que mesmo um problema com apenas um objectivo específico intrínseco, pode no âmbito da análise identificar-se outros objectivos, alguns complementares outros que entram em conflito com o objectivo que determinou a análise. O desafio consiste em encontrar uma solução que vá de encontro ao objectivo inicial da análise sem comprometer ou com o mínimo de efeitos ou impactos sobre áreas em que os usos possam ser contraditórios. Isto é, no caso da aptidão territorial fotovoltaica, cujo objectivo principal consiste na identificação da aptidão territorial de determinada área geográfica para a localização de centrais

solares fotovoltaicas, o conjunto de critérios (factores de produtividade do sistema e condicionantes territoriais) que vão determinar a classificação dessa aptidão devem reflectir a priorização dos objectivos estabelecidos e a tentativa de minoração dos conflitos entre eles, resultando numa solução de compromisso (Carrión *et al*, 2008; Eastman, 2012).

Para além disso, há que ter em atenção que, embora a informação seja um dos elementos fundamentais no processo de tomada de decisões, os dados geográficos disponíveis que vão ser modelados na análise multicritério em SIG têm associado um certo grau de incerteza e de imprecisão, resultantes muitas vezes da interpretação efectuada sobre esses dados, da sua génese ou elaboração dos dados ou do tipo de critérios (se quantitativos se qualitativos), sendo certo que vão incrementar o grau de erro no resultado final (Eastman, 2012).

Ora, a análise multicritério – que emergiu, essencialmente, em meados de 1960 – tem associada não uma mas várias terminologias científicas, conforme consulta bibliografia efectuada, cujos termos vão desde *Multicriteria evaluation* de Eastman (2012); a *GISbased MultiCriteria Decision Analysis* (GIS-MCDA) de Malczewski (2006); *Muticriteria decision analyses* de Barin *et al* (2009); a *Multicriteria evaluation* (MCE) de Carrión *et al* (2008); a *Multicriteria analysis* de Joerin *et al* (1998), Janke (2010), Charabi *et al* (2011).

A análise multicritério é, portanto, utilizada na resolução de problemas complexos que conjugam diversos critérios com forte aplicabilidade aos SIG's, normalmente relacionados com a procura da localização óptima, mas com comprovada utilização na avaliação da aptidão (Kale *et al*, 2005; Carrión *et al*, 2008). Os SIG's – com as suas capacidades ao nível da integração, análise e visualização de informação de base geográfica com referenciação espacial – e a análise multicritério – cujos métodos perfeitamente adaptados e a funcionar em sintonia com os SIG's disponibilizam técnicas e procedimentos avançados para a estruturação, avaliação e priorização de decisões – podem ser entendidas como ferramentas especializadas que permitem suportar tecnicamente o processo de tomada de decisão (Malczewski, 2006; Carrión *et al*, 2008). De forma muito simplista, os SIG's fornecem os meios para gerir a informação que descreve o território e implementar os critérios definidos e a análise multicritério fornece as técnicas que permitem a agregação dos critérios de acordo com a metodologia seleccionada de forma a obter o resultado da aptidão e assim, escolher as opções mais adequadas para os territórios e seus actores locais (Joerin *et al*, 1998; Joerin *et al*, 2001).

A análise multicritério é um procedimento especialmente indicado para situações em que se pretende resolver problemas relativos a um objectivo específico que depende, obrigatoriamente, da avaliação de vários e diversificados critérios colocando-os e descodificando-os numa escala comum, normalmente de aptidão. Inclui genericamente dois métodos: o método *Booleano* e a Combinação linear ponderada (ou *Weighted Linear Combination* (WLC)) (Eastman, 2012).

No método *Booleano*, aos critérios que caracterizam e classificam determinado objectivo ou problema é aplicada uma lógica binária (de 0 e 1) e uma análise que reflecte uma adequação de comandos lógicos, sendo, posteriormente, combinados através de operadores lógicos de intersecção (AND) ou união (OR). Este método é normalmente caracterizado por ser de fácil e prática aplicação, sendo utilizado com maior frequência no modelo de dados vectorial (Ramos, 2000). Na aplicação do método *Booleano*, se por um lado admitirmos que aos critérios é aplicado o operador lógico de intersecção significa que determinado local tem de respeitar e atender a todos os critérios para que possa ser incluído na decisão final, sendo que, nos casos em que um local não cumpre determinado critério, esse local é excluído da análise; se por outro lado, admitirmos que aos critérios é aplicado o operador lógico união, determinada localização será incluída na decisão final mesmo quando cumpre apenas um dos critérios (Eastman, 2012).

No método *Weighted Linear Combination*, normalmente aplicados aos modelos de dados raster, os critérios são padronizadas e classificados para intervalo numérico comum, e depois combinados por meio de uma média ponderada de acordo com o seu nível de importância ou influência (Ramos, 2000; Eastman, 2012). Este método é identificado como o método de decisões baseado em SIG mais utilizado, que revela uma medida de equilíbrio entre os critérios, e que, decorrente do leque de alternativas que suporta, permite que os critérios se compensem mutuamente, sendo frequentemente aplicado em questões de uso do solo, cálculo da aptidão, localizações óptimas e problemas com a avaliação dos recursos, descrito como intuitivo e de fácil compreensão (Carrión *et al*, 2008; Malczewski *et al*, 2015). Independentemente da temática, este modelo inclui, genericamente, 6 etapas, que vão desde a selecção cuidadosa de um conjunto de dados que reflectam os critérios relevantes para a temática; à definição de um conjunto de alternativas ou possibilidades; ao desenvolvimento de uma classificação de pesos apropriado para cada conjunto de dados; à definição do peso a assumir por cada variável identificando uma priorização das variáveis do modelo; à combinação e sobreposição das variáveis de acordo com esses pesos definidos; até à obtenção do produto final, cuja apresentação pode ser sobre a forma *booleana* (o resultado reflecte as áreas *in* ou *out* resultantes da combinação das camadas), gradação de pesos (onde o valor atribuído a cada área de saída no mapa final é a soma das camadas de entrada), ou uma combinação de ambos (Ignizio, 2010; Malczewski *et al*, 2015). Este é, portanto, o método adoptado na modelação sustentada neste trabalho de projecto devido às suas características, especificidades e à comprovada aplicação à temática em estudo.

Ambos os métodos acima descritos recorrem a algoritmos de decisão com base no cálculo da média ponderada ordenada ou *Ordered Weighted Averaging* (OWA), que incorporam quer a importância dos critérios quer a ordem dos pesos e cujo procedimento de agregação recorre aos conjuntos *fuzzy*, ou seja, cuja natureza do processo depende dos parâmetros seleccionados os quais podem ser difusos (Charabi *et al*, 2011).

O *Analytical Hierarch Process* (AHP), entendido como uma abordagem robusta utilizada em estratégias de tomada de decisão e, portanto, análise multicritério, é um método baseado no modelo de ponderação aditivo, que utiliza uma primeira técnica para derivar os pesos e importâncias de cada mapa que reflecte um

conjunto de critérios e uma segunda técnica para agregar os pesos a cada mapa critério. Os métodos OWA e AHP, algoritmos incorporados nos softwares SIG desde 1995, têm uma vasta aplicação, tendo sido também aplicados às energias renováveis (Charabi *et al*, 2011).

Da aplicação destes métodos resulta um mapeamento contínuo da aptidão, sendo certo que, uma vez que são métodos cujas lógicas e método de agregação diferem, o resultado difere em função do método adoptado (Eastman, 2012).

A aptidão de determinado território para determinado uso é dado em função da conjugação entre factores relacionados com as características intrínsecas desse território com as potencialidades que resultam da sua transformação do território (Campo *et al*, 2004). Por isso mesmo, para avaliar a aptidão territorial relativamente a determinada temática pressupõe, por um lado, a existência de uma grande variedade de dados (e de fontes de dados) que caracterizem e representem geográfica e fisicamente o território e a temática, e por outro lado, a definição e identificação dos pesos ou ponderações a atribuir a cada um dos dados de entrada no modelo (Janke, 2010).

A aptidão territorial a determinada temática ou uso, sua elaboração, análise e mapeamento – questão mais importante e mais frequente na aplicação dos SIG's e da análise multicritério – tem como objectivo a identificação dos usos potenciais ou mais apropriados para determinado território, de acordo com um conjunto de critérios que reflectem condições requeridas e preferenciais associadas a esses usos e as condições físicas do próprio território (Malczewski, 2006).

Tendo em conta que a aferição da aptidão territorial fotovoltaica pressupõe a integração de múltiplos e diversificados critérios, assume-se que essa integração deve garantir uma lógica que justifique de forma coerente a selecção dos critérios e a ponderação ou peso a assumir por cada um dos critérios. Por isso mesmo, os pesos ou ponderações atribuídos a cada camada de dados deve reflectir um elevado grau de adequação entre a influência / importância dessa variável no modelo e a influência / importância dessa variável em relação às outras variáveis de entrada no modelo, determinante para o desempenho do modelo (Ignizio, 2010; Malczewski *et al*, 2015). Posto isto, e embora existam muitas técnicas, *“o método para a definição dos pesos dos critérios não é consensual e a quantificação de importância relativa de cada critério constitui uma das grandes dificuldades encontradas num processo de decisão que envolve a análise multicritério”* (Cabral, 2012).

A avaliação da aptidão territorial para a implementação de projectos solares, nomeadamente, os fotovoltaicos surge como instrumento fundamental para um eficaz planeamento e ordenamento do território. Isto porque, ao concentrar em si todo o estudo da adequabilidade do território a projectos solares fotovoltaicos, de acordo com um conjunto de critérios que vão desde a produtividade do sistema fotovoltaico, aos usos (existentes, potenciais, compatíveis ou condicionantes), inclui a identificação inequívoca das áreas mais aptas para o fotovoltaico bem como as vantagens e desvantagens de dedicar determinadas áreas do

território a esse uso. O que em termos teóricos deve de alguma forma comprometer a implantação de projectos solares fotovoltaicos aos locais que no seio desse estudo se revelaram mais aptas, logo com menos impacto para o território, ambiente e populações, no respeito pelas restantes actividades (Ignizio, 2010).

Diversos são já os autores e os trabalhos que aplicam técnicas de análise multicritério para resolução, estudo ou análise de problemas ou temáticas relacionadas com as energias alternativas, nomeadamente, os solares fotovoltaicos. De entre os vários métodos de análise multicritério, o AHP e os conjuntos *fuzzy* são dos mais utilizados em questões de energia (Barin *et al*, 2009). São exemplo disso, os trabalhos de:

- Carrión *et al* (2008), cujo pressuposto consiste na identificação de localizações óptimas para a instalação de projectos solares fotovoltaicos com recurso aos SIG's, análise multicritério e AHP, de acordo com um conjunto de factores.
- Barin *et al* (2009) cujo propósito consiste em avaliar o funcionamento de um conjunto de 4 fontes de energia (entre elas a fotovoltaica) incidindo em diversos parâmetros e através das técnicas de análise e decisão multicritério, especificamente a metodologia baseada no esquema desenvolvido por Saaty, a AHP – e a Lógica Fuzzy.
- Charabi *et al* 2011, cujo objectivo consiste na apresentação dos resultados preliminares de um estudo da aptidão fotovoltaica de Omã com recurso a análise multicritério, especialmente o método *Fuzzy Logic Ordered Weight Averaging* (FLOWA). Como tal, e de forma a classificar e avaliar a aptidão de Omã, o projecto inclui um conjunto de informação geográfica acerca dos critérios que influem nesta temática (radiação solar, modelo digital de elevação, área residencial, áreas sensíveis ou protegidas, linhas de transmissão de electricidade, acessibilidade às estradas), cujos pesos são atribuídos de acordo com a importância de cada um desses critérios na determinação da alternativa ideal. A abordagem aplicada consiste no AHP-OWA para desenvolver uma escala de aptidão territorial para as tecnologias fotovoltaica e fotovoltaica de concentração, ambos de grande escala.

Como principais vantagens da incorporação de métodos de análise multicritério baseadas em SIG pode referir-se o facto de apoiar os decisores de uma opção tecnicamente fundamentada para a tomada de decisão dentro de um leque de alternativas, para além de que, nessa decisão, os decisores poderem ver reflectidos os pesos e valores de sua preferência nos critérios que influenciam a análise, podendo, em resultado obter um *feedback* do modelo em relação às suas expectativas, na medida em que fornece mecanismos para revelar a preferência dos decisores e para identificar e explorar alternativas de compromisso entre os diversos intervenientes ou afectados no processo de tomada de decisão (Malczewski, 2006).

Modelos de avaliação da aptidão territorial são normalmente estruturados em 6 passos que vão desde a definição do problema ou objectivo, identificação e ponderação dos critérios de avaliação da aptidão, à normalização de escalas de utilidade, à definição dos pesos para cada um dos critérios, ao cálculo do

resultado do modelo com base na classificação assumida e terminando com a avaliação do resultado obtido (ESRI, 2014).

O *Weighted Sum* do menu *Overlay* da extensão *Spatial Analyst* do *ArcGIS*, é uma ferramenta que permite a aplicação da análise multicritério integrada num software SIG, através da especificação do peso ou importância de cada critério a combinar, suportando múltiplas camadas de sobreposição, para o modelo de dados raster. Durante o processamento desta ferramenta os dados de entrada não são reclassificados para uma escala de avaliação, permitindo deste modo manter a resolução inicial dos dados, facto que pode ser útil para a identificação de uma determinada classe de aptidão territorial. No entanto, os valores das camadas requerem uma reclassificação prévia à execução desta ferramenta. Para que funcione, os dados de entrada (do tipo raster) devem conter uma coluna que vai corresponder ao campo que irá ser utilizado para a análise de sobreposição, tendo obrigatoriamente de ser do tipo numérico (daí a necessidade de reclassificação prévia de cada tema ou conjunto de dados de entrada). Este método permite uma atribuição de pesos mais liberal, pois embora a cada raster seja atribuído um valor que pode diferir entre camadas e que deve reflectir a sua importância no seio da análise da temática, não requer um valor em específico (ESRI, 2014).

Para além disso, a sua aplicação contempla ou pressupõe a implementação de várias etapas do processo de análise multicritério cujo resultado da aplicação é a combinação de operações cujo processo deve terminar na validação do resultado obtido (figura 18). O *Weighted Sum* é o resultado directo do somatório da multiplicação dos valores de cada célula de cada um dos rasters de entrada pelo peso desse raster, assumindo, portanto, uma lógica em que os locais mais aptos correspondem aos locais onde os factores são mais favoráveis à temática, logo os valores mais elevados assumidos pelo raster resultante.

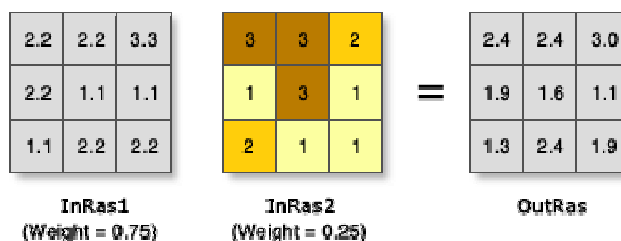


Figura 18 – Ferramenta *Weighted Sum* do *ArcGIS*  
Fonte: ESRI, 2014

Assim, a figura 18 representa o funcionamento da ferramenta *Weighted Sum*, que no caso específico, tem dois rasters de entrada, com um campo numérico (embora não revele uma classificação numa escala comum), onde o primeiro raster tem uma influência de 0,75 e o segundo raster de 0,25. O processamento da ferramenta inicia-se com a operação de multiplicação de cada uma das células pelo valor de influência do raster ao qual corresponde, ou seja, para a primeira célula de cada raster na figura a operação vai ser  $2,2 \times 0,75 = 1,65$  e  $3 \times 0,25 = 0,75$ , para os rasters 1 e 2, respectivamente. O resultado final corresponde à soma de cada um dos valores de saída, ou seja,  $1,65 + 0,75 = 2,40$ . Esta é a exemplificação para a primeira célula de cada um dos rasters, mas a ferramenta replica estas operações para todas as células de todos os rasters de entrada (ESRI, 2014).



Esta ferramenta é utilizada com mais frequência em questões de modelação, análise e aferição da aptidão, entendida como uma combinação muito útil entre os SIG's e a análise multicritério, em situações em que se pretende manter a resolução do modelo ou quando é necessário que o resultado seja do tipo *floating-point* ou pesos decimais, pese embora as limitações em termos de flexibilidade e transparência decorrentes da utilização de pesos da preferência do utilizador ou decisor (ESRI, 2014; Tisza, 2014).

#### **4.6 Conclusões do capítulo**

A tomada de decisões é, normalmente, um processo complexo e que se quer participado, partilhado e responsabilizado, que tem associado um objectivo, que obedece muitas vezes a muitos critérios, que afecta, na generalidade, um conjunto de pessoas, factos, territórios e ecossistemas, onde é difícil obter consensos entre os intervenientes e os “afectados” (investidor, o decisor e a população “afectada” por determinado projecto ou intenção de projecto) e que reflectem problemas multicritério, e algumas vezes “multiobjectivo” e portanto, “multivontades” e “multiefeitos” (Goodchild *et al*, 1990; Malczewski *et al*, 2015).

O recurso à modelação e à análise multicritério em ambiente SIG surge muitas vezes como a opção acertada, uma vez serem entendidas como ferramentas para a análise e resolução de problemas complexos e multicritério, pelas possibilidades que disponibilizam em termos de técnicas de caracterização, análise, visualização e teste de alternativas que permite ao utilizador / investigador investigar determinados fenómenos e sustentar tecnicamente a tomada de decisões com base no conhecimento dos seus efeitos e do grau de incerteza intrínseco a esse processo (Goodchild *et al*, 1990; Ignizio, 2010; Eastman, 2012). Para além disso, no âmbito da aplicação da análise multicritério, o método adoptado, bem como os pesos e critérios devem reflectir a opção mais adequada e que melhor caracterize o problema ou a temática em análise, uma vez que a qualidade do produto está dependente destas questões.

No âmbito da aferição da aptidão territorial fotovoltaica, o modelo adoptado reflecte os passos e as operações determinantes naquela que se crê ser a abordagem indicada e adequada ao problema, representando-o na sua plenitude. Em termos de modelação em SIG, e pese embora as especificidades decorrentes da localização seleccionada para a avaliação da aptidão (que podem diferir em termos de dados, métodos ou operações necessárias), os sub-passos mais importantes no seio desta abordagem correspondem essencialmente ao pré-processamento, processamento raster e análise multicritério, por contemplarem as operações tidas como necessárias e fundamentais à qualidade do resultado obtido.

## 5. O CONCELHO DE OURIQUE COMO CASO DE ESTUDO

### 5.1 Introdução

No sentido de uma maior adequação da problematização à realidade em causa e como resultado da consulta bibliográfica efectuada, das informações cedidas pelo painel de peritos e da selecção do modelo entendido como o adequado à temática, objectivo e informação disponíveis, a exemplificação do modelo conceptual supra surge como tarefa estritamente necessária para teste, credibilização e melhor compreensão da sua aplicação, reflectindo os factores de produtividade do sistema, as condicionantes territoriais e as áreas de exclusão da modelação, na tentativa da obtenção da aptidão territorial fotovoltaica.

### 5.2 Caracterização e justificação da área de estudo

A área de estudo corresponde ao Concelho de Ourique, localizado no Sul de Portugal Continental, na região do Alentejo, mais especificamente NUTIII Baixo Alentejo (BA), administrativamente inserido no Distrito de Beja, conforme figura 19. Ourique situa-se numa zona de transição entre a Planície Alentejana e a Serra Algarvia. Como concelhos limítrofes refira-se a Norte Aljustrel, a Noroeste Santiago do Cacém, a Oeste Odemira, a Nordeste Castro Verde, a Este Almodôvar e a Sul Silves. Possui uma área de 663,4 km<sup>2</sup> (cerca de 8% do território do BA), repartida por 4 freguesias.

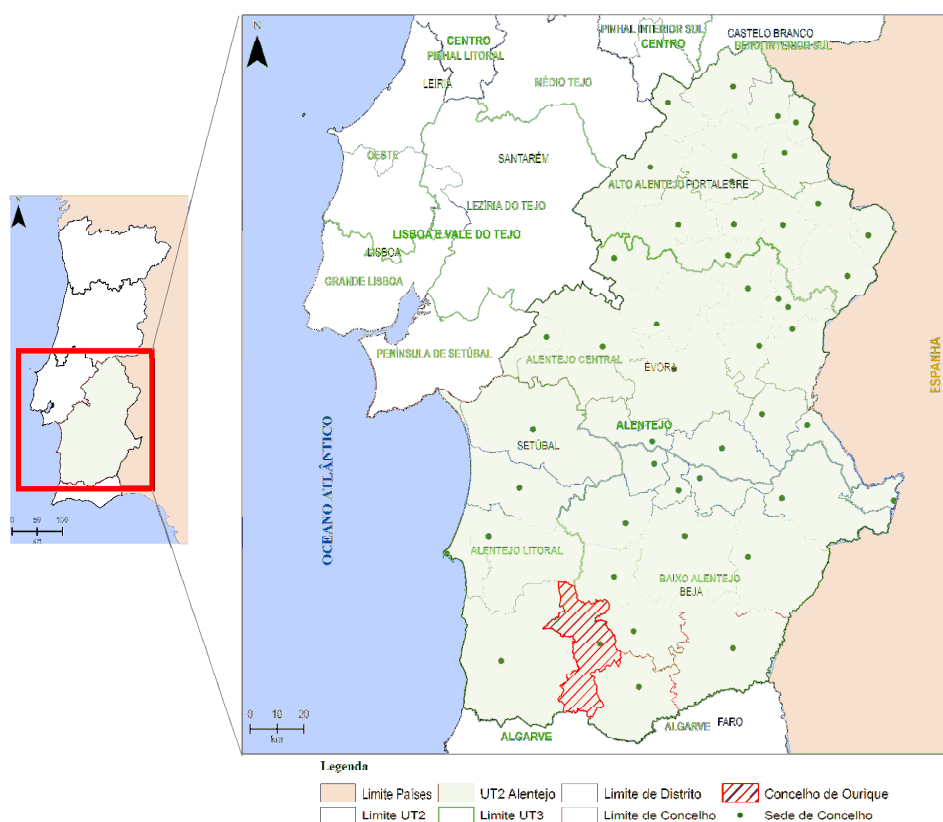


Figura 19 – Enquadramento territorial do Concelho de Ourique

Fonte: DGT, 2014a

O Concelho de Ourique, é um território marcadamente rural, com uma forte dispersão da população, em lugares de pequena ou muito pequena dimensão (em área e habitantes) e em montes, muitas vezes isolados. Em jeito de enquadramento, o Concelho de Ourique é genericamente caracterizado por:

- Um clima de influência mediterrânica, com elevadas amplitudes térmicas, uma estação seca e quente marcada no verão e invernos frescos com baixa pluviosidade, uma temperatura média anual na ordem dos 15-16°C, uma precipitação média mensal de 48,7 mm, uma humidade média anual relativa de 85,2% e ventos cuja velocidade máxima varia entre os 3,8 e 5,7 km/h, ocorrendo, preferencialmente, na direcção Noroeste (CMO, 2008);
- Dois tipos de paisagens distintas: a Norte, uma paisagem cerealífera de planícies secas com declives inferiores e homogéneos (0-8%), e a Sul, uma paisagem serrana, com declives superiores (8-35%), com um coberto vegetal de características mediterrânicas (EGA *et al*, 2011a; EGA *et al*, 2011c);
- Uma ocupação do solo preferencialmente florestal e agrícola, caracterizada por declives pouco acentuados (CMO, 2008);
- Indicativos de ecossistemas vulneráveis, habitats e espécies sensíveis de elevado valor ecológico como os Biótopos CORINE (Colos/ Ribeira de Gema, Castro Verde e Albufeira do Monte da Rocha), Zonas de Protecção Especial (ZPE) (Piçarras, Castro Verde, Monchique e Caldeirão), Sítios (Monchique e Caldeirão);
- Forte presença de áreas de REN (43% do total do concelho) (EGA *et al*, 2011c);
- Existência de recursos hídricos de importância com destaque para as bacias hidrográficas do Sado, Mira, Guadiana e Arade e Albufeiras de Monte da Rocha e Santa Clara (EGA *et al*, 2011c);
- Uma população na ordem dos 5839 habitantes, de cariz fortemente envelhecido e uma densidade populacional de 8hab/km<sup>2</sup> com tendência a decrescer (INE, 2011b);
- Uma estrutura económica assente, essencialmente, no sector terciário e no primário, sendo o sector público o maior empregador, destacando-se o papel da autarquia de Ourique enquanto principal promotor do desenvolvimento, empregador, gerador de crescimento e aliado do investimento privado (EGA *et al*, 2011c);
- Uma estrutura empresarial maioritariamente de pequena dimensão, nos ramos do comércio, imobiliário e outros serviços públicos, registando-se ainda algumas actividades na construção civil e transformação (EGA *et al*, 2011c);
- Um património arqueológico e arquitectónico de grande importância, classificado ou referenciado;
- Boas acessibilidades externas (ao centro urbano de nível superior mais próximo – Beja – e às restantes áreas metropolitanas adjacentes – Lisboa e Faro) e internas (aos principais aglomerados do concelho);
- Um aglomerado considerado de cariz urbano (Vila de Ourique – sede de concelho) que desempenha o papel de núcleo central e polarizador ao nível das funções para os bens e serviços de nível mais baixo e alguns de nível intermédio, preenchendo de forma razoável o papel administrativo e social já que congrega os principais equipamentos e funções públicas e privadas, numa rede urbana caracterizada pela inexistência de aglomerados com dimensão significativa;

- Nível de insolação entre 2750 a 3000 horas, com o Norte e Centro do concelho a registar os valores mais elevados (APA, 1974);
- Valores de radiação solar global na ordem dos 4,64 kWh/m<sup>2</sup>/dia correspondendo a uma produção solar fotovoltaica de 6,18 kWh/kWp, para o período de 1998-2011 (PVGIS, 2015).

Localizado num Distrito que apresenta um claro e homogéneo potencial relativamente à energia solar, justificado pelos valores médios de radiação solar registados, na ordem dos 70 kWh/m<sup>2</sup>/dia, para o período de 2009 a 2014, Ourique representa cerca de 7% do potencial da região, num total de 5 kWh/m<sup>2</sup>/dia, apresentando, portanto, um potencial do recurso solar considerado como bom, conforme parâmetros estabelecidos pelo NREL (Funbabashi, 2011; IPMA, 2015b). À semelhança do que acontece para o Distrito, os dados registados para o Concelho de Ourique revelam diferenças significativas quando analisados de acordo com a estação do ano, onde nos meses de Maio a Agosto os valores máximos registados são na ordem dos 7,5 kWh/m<sup>2</sup>/dia e os valores mínimos nos meses de Novembro a Fevereiro são na ordem dos 2,2 kWh/m<sup>2</sup>/dia (IPMA, 2015c).

De realçar que para o mesmo período de tempo (2009-2014), a temperatura média máxima do Distrito e de Ourique são de 23,3°C e de 22,6°C, respectivamente, valores estes que escondem os extremos. Assim, e à semelhança do que acontece com a radiação solar, os valores de temperatura média máxima diferem de acordo com a estação do ano, ou seja, para os meses de Maio a Agosto, a temperatura média máxima registada para Ourique é de 28,9°C, valor muito diferente quando analisados os meses de Novembro a Fevereiro (15,7°C). Posto isto, e apesar da influência que elevadas temperaturas podem ter na produtividade do sistema solar fotovoltaico, o que é certo é que, neste período, para este distrito e concelho, os valores mais elevados de radiação solar de que há registo concentram-se nos meses cuja temperatura média máxima atinge os valores mais altos (IPMA, 2015c).

Em termos energéticos, e apesar da evolução positiva na ordem de 427% de 1970 para 2013, o Concelho de Ourique regista neste último ano, cerca de 3978 consumidores de energia eléctrica (entendidos como clientes finais de electricidade) representando cerca de 4,66% do total do Baixo Alentejo, sendo o 5º concelho desta unidade territorial com menor número de consumidores (Pordata, 2015a). O número de consumidores é maioritariamente do sector doméstico (82,3%). Em termos de consumos, Ourique regista em 2012 cerca de 19 488 058 kWh, que corresponde a 2,7% dos consumos de energia eléctrica registados no Baixo Alentejo, sendo os sectores doméstico, indústria e não domésticos que registam os maiores consumos por ordem crescente de apresentação (30,69%, 29,8% e 23,2%, respectivamente) (Pordata, 2015b).

Apesar do conhecimento quase do senso comum do forte potencial de Ourique em matéria de energia solar (incluindo o térmico e o fotovoltaico), este sector, não revela nos últimos anos, o desenvolvimento esperado, pese embora as diversas iniciativas ou intenções públicas e privadas projectadas, aprovadas, em apreciação ou executadas. As iniciativas públicas, promovidas pela Câmara Municipal de Ourique, incluem o sistema

solar térmico instalado sobre a Piscina Municipal de Ourique para aquecimento de água e a Electrificação Rural a partir de Módulos Fotovoltaicos nas freguesias de Ourique e Santana da Serra, prevista para fornecimento de energia a 15 habitações. As iniciativas privadas divergem em termos de empresa e são, essencialmente, projectos fotovoltaicos ou mistos (eólico e fotovoltaico), em fase de projecto ou construção, cujas localizações coincidem com as freguesias de Ourique e Santana da Serra, contabilizando-se a esta data cerca de 8 projectos que no total correspondem a uma potência a instalar na ordem dos 41,4 MW. Das iniciativas privadas realce para o projecto Ourika, o projecto mais recentemente licenciado pela DGEG, localizado na freguesia de Ourique, pertencente à empresa PROSOLIA Lda., identificado como “o primeiro parque solar fotovoltaico da Europa a ser implantado sem recurso a quaisquer subsídios ou tarifas garantidas”, cuja conclusão está prevista para 2016, num terreno imediatamente confinante com a Subestação da REN, perto de Grandaços, com uma potência na ordem dos 46 MW e uma produção anual estimada de cerca de 80 GWh (CMO, 2015).

A selecção do Concelho de Ourique como área de estudo do caso está relacionada com duas razões: a primeira, com o potencial solar intrínseco dado pela sua localização geográfica e, consequentemente, pelas suas características biofísicas (níveis de insolação e radiação solar registados); a segunda, com disponibilidade dos dados a servir de base ao teste da metodologia proposta (EGA *et al*, 2011a).

### 5.3 Dados

Apesar da tentativa de incluir e cobrir todas os critérios identificados no capítulo 3, as variáveis incluídas na modelação espacial da aferição da aptidão solar fotovoltaica do Concelho de Ourique correspondem apenas aos dados disponíveis, à data da elaboração do caso de estudo, para os factores de produtividade do sistema solar fotovoltaico e as condicionantes territoriais e as áreas de exclusão (tabela 3).

Temática	Dados	Fonte / Proprietário	Período de Ref.	Escala/ Resolução Espacial	Modelo/ Formato Original	Sistema de Referência
Enquadramento	Limites Administrativos	Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP) 2014 – DGT (DGT, 2014a)	2014	1/25000	Vectorial (shp)	ETRS89/PT-TM06
Enquadramento/ Vectorização	Maps (ortos)	BING		n.a.	WMS	
Enquadramento/ Caracterização	Cartografia Militar 1/50000	DGT (IGEO, 2015)		n.a.	WMS	
Factores de Produtividade	MDE	ASTER-GDEM2 – METI/NASA (NASA, 2012)	2011	30m	Raster (GeoTiff)	WGS84
Factores de Produtividade	Radiação solar global	A modelar com base no MDE				
Factores de Produtividade / Condicionantes Territoriais	Linhas Eléctricas de Média e Baixa Tensão	CMO, 2014b	2014		Vectorial (shp)	ETRS89/PT-TM06
Factores de Produtividade / Áreas de exclusão	Rede Viária Nacional e Municipal	CMO, 2014e	2014	1/25000	Vectorial (shp)	ETRS89/PT-TM06

Temática	Dados	Fonte / Proprietário	Período de Ref.	Escala/ Resolução Espacial	Modelo/ Formato Original	Sistema de Referência
Factores de Produtividade	Temperatura média máxima	Monteiro-Henriques, 2010	1961-1991	111,1m	Raster	ETRS89/PT-TM06
Condicionantes Territoriais	RAN	Planta de Condicionantes (PC) do PDM de Ourique (CMO, 2001)	2001	1/25000	Vectorial (shp)	ETRS89 /PT-TM06
Condicionantes Territoriais	Áreas de montado de sobre e azinho	PC do PDM de Ourique (CMO, 2001)	2001	1/25000	Vectorial (shp)	ETRS89 /PT-TM06
Condicionantes Territoriais	Áreas ardidas	ICNF (ICNF, 2013)	2000-2012		Vectorial (shp)	Datum Lisboa/ ETRS89 /PT-TM06
Condicionantes Territoriais / Áreas de exclusão	REN	CCDRA (CCDRA, 2015)	2014	1/25000	Vectorial (shp)	ETRS89 /PT-TM06
Condicionantes Territoriais	RN2000	Rede Nacional de Áreas Protegidas; SIC, ZPE e Biótopos de Corine – ICNF (ICNF, 2012)	2012		Vectorial (shp)	ETRS89/PT-TM06
Áreas de exclusão	Rios	Sistema Nacional de Informação dos Recursos Hídricos (SNIRH) – APA (APA, 2006)	2006	1/1000000	Vectorial (shp)	Datum Lisboa
Áreas de exclusão	Albufeiras de Águas Públicas (AAP)	COS 2007 – DGT (IGP, 2010)	2007		Vectorial (shp)	ETRS89/PT-TM06
Áreas de exclusão	Limite de intervenção dos POA's	CMO, 2010	2010	1/25000	Vectorial (shp)	ETRS89/PT-TM06
Áreas de exclusão	Pedreiras	CMO, 2014d	2014	1/10000	Vectorial (shp)	ETRS89/PT-TM06
Áreas de exclusão	Aproveitamentos Hidroagrícolas	CMO, 2014a	2014	1/25000	Vectorial (shp)	ETRS89 /PT-TM07
Áreas de exclusão	Património classificado	A vectorizar com base na informação da DGPC (DGPC, 2015) e do <i>Basemap</i> do ArcGIS				
Áreas de exclusão	Linhas Eléctricas de Muito Alta Tensão	CMO, 2014b	2014		Vectorial (shp)	ETRS89/PT-TM06
Áreas de exclusão	Rede Ferroviária	CMO, 2006	2006		Vectorial (shp)	ETRS89/PT-TM06
Áreas de exclusão	Troço de ligação entre centros radioeléctricos da Fóia e Castro Verde	A vectorizar com base na Carta Militar 1/50000 (IGEO, 2015) e Decreto-Regulamentar n.º 59/1984				
Áreas de exclusão	Marcos Geodésicos	CMO, 2014c	2014		Vectorial (shp)	ETRS89/PT-TM06
Áreas de exclusão	Áreas urbanas	Planta Complementar de Ordenamento (PCO) do PDM de Ourique (CMO, 2001)	2001	1/5000	Vectorial (shp)	ETRS89 /PT-TM06
Áreas de exclusão	PP (Campanador e Monte da Arrábida)	CMO, 2011	2011	1/25000	Vectorial (shp)	ETRS89 /PT-TM06

Tabela 3 – Listagem dos dados de base utilizados na aplicação do modelo ao caso de estudo  
Fonte: Elaboração própria

Das variáveis a modelar pela sua importância e influência no processo, realce para a radiação solar global (importante informação de entrada associado a sistemas solares fotovoltaicos), a informação relativa à topografia (mais especificamente, modelo digital de elevação – informação de base de extrema importância para a obtenção e derivação doutras informações de entrada no processo), ao sistema eléctrico existente, e os elementos que caracterizem a sensibilidade ambiental, que preconizem a gestão territorial e que favorecem a simplificação e desburocratização da instalação dum projecto solar fotovoltaico (Clifton *et al*, 2010).

Os dados acima identificados reflectem a melhor adequação possível entre os dados disponíveis ou disponibilizados a título gratuito e o objectivo, escala, cobertura, grau de actualização e carácter normativo para a aplicação da metodologia ao caso de estudo. Assim, embora para os temas MDE, Rede Viária, Rede Ferroviária e Rede Hidrográfica as fontes mais adequadas à escala e objectivo da análise correspondessem aos temas constantes da cartografia numérica vectorial à escala 1/10000 de 2006 da DGT ou em alternativa aos da Carta Militar da série M888 à escala 1/25000 do Instituto Geográfico do Exército (IGEOE) em formato vectorial, uma vez que as entidades proprietárias desses dados não autorizaram a sua cedência e utilização gratuita para este estudo de caso, as opções tomadas foram as seguintes:

- Para o MDE optou-se pela utilização de imagem de satélite do *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Global Digital Elevation Model Version 2 (GDEM2) do Ministry of Economy, Trade, and Industry (METI) of Japan e da National Aeronautic and Space Administration (NASA)* que num esforço conjunto forneceram gratuitamente aos utilizadores de todo o mundo um MDE, contribuindo assim para o *Global Earth Observing System of Systems (GEOSS)*, representando esta segunda versão uma melhoria relativamente à 1ª versão ao nível da cobertura e resolução espacial, apresentando, portanto, uma precisão global de cerca de 17 m, no nível de confiança de 95% e uma resolução horizontal da ordem de 75 m. O MDE do ASTER-GDEM2 do METI/NASA, com cobertura para o Concelho de Ourique, é de 2011, apresenta uma precisão horizontal de 1 *arc-second* (aproximadamente 30 m), estando disponível no formato *Georeferenced Tagged Image File Format (GeoTIFF)* no sistema de coordenadas *WGS84* (código EPSG 4326) tendo sido obtido através da NASA (2012) (METI *et al*, 2011a; METI *et al*, 2011b). Revelou-se a escolha mais acertada por ser informação disponibilizada de forma gratuita e por reunir um conjunto de características (resolução, data da informação, tratamento) consideradas mais adequadas em detrimento de outras imagens disponíveis para a área geográfica em estudo.
- Para a Rede viária e ferroviária a opção mais adequada à realização do trabalho demonstrou ser a informação cedida pela CMO (2006), tida como a viável por ser de fonte credível.
- Para a temperatura a opção tida como mais adequada foi a da Carta da temperatura média máxima dos meses mais quentes, para o período de 1961-1991, elaborada por Monteiro-Henriques (2010), que transpôs para mapa a temperatura do ar de Portugal Continental proveniente das normais meteorológicas (registos e interpolações) com recurso à Geoestatística e a técnicas de interpolação, nomeadamente a regressão múltipla, utilizando a altitude e a distância à linha de costa com *krigagem* dos resíduos (Monteiro-Henriques, 2010).

- Para a Rede hidrográfica a selecção recaiu sobre a informação disponibilizada pelo SNIRH, no seu Atlas da Água, por ser informação credível de entidade do Estado, disponível sem custos e por ser estar em formato vectorial, pese embora a opção mais adequada ser a da Cartografia Militar por ser a cartografia de base pela qual a APA se regula para efeitos de emissão de parecer sobre utilizações / usos no domínio hídrico.

#### 5.4 Critérios para aferição territorial fotovoltaica no Concelho de Ourique

De acordo com o especificado no capítulo 3 e com os dados disponíveis (tabela 3), abaixo identificam-se sumariamente os critérios para a aferição territorial fotovoltaica no Concelho de Ourique decorrentes dos factores de produtividade e condicionantes territoriais existentes e passíveis de inclusão na modelação em SIG e as respectivas áreas a excluir da modelação (tabela 4).

Critérios	
Tipo	Especificação
Factores de Produtividade	Níveis de radiação solar global preferencialmente acima dos 3 kWh/m <sup>2</sup> /dia (IEA, 2010; GTES, 2014)
	Declives suaves, preferencialmente na ordem dos 5% embora admitidas os declives entre os 6 e os 8% inclusivé para terrenos orientados a Sul (CH2M HILL, 2008; Charabi <i>et al</i> , 2011; EGA, 2011; Hott <i>et al</i> , 2012)
	Proximidade às linhas eléctricas (NREL, 2006; CH2M HILL, 2008; Dahle <i>et al</i> , 2008; Charabi <i>et al</i> , 2011)
	Boas acessibilidade rodoviárias (CH2M HILL, 2008; Charabi <i>et al</i> 2011)
	Preferencialmente em áreas cujas temperaturas médias são mais baixas (Associação e-LEE, 2003; Carrión <i>et al</i> , 2008; PPSEC, 2013)
Condicionantes Territoriais	Preferencialmente em áreas não classificadas como RAN (DL n.º 73/2009, de 31 de Março)
	Preferencialmente em áreas não classificadas como de Montado (DL n.º 169/2001, de 25 de Maio)
	Preferencialmente em áreas cujos povoamentos florestais que não tenham sido percorridos por incêndios (DL n.º 139/88, de 22 de Abril)
	Preferencialmente em áreas não classificadas como REN, e quando nestas áreas, apenas nas classes das áreas de sustentabilidade do ciclo da água e nas áreas de prevenção de riscos naturais (DL n.º 239/2012, de 2 de Novembro)
	Preferencialmente em áreas não classificadas como RN2000 (DL n.º 49/2005, de 24 de Fevereiro; DL n.º 142/2008, de 24 de Julho; DL n.º 151-B/2013, de 31 de Outubro)
Áreas de Exclusão	Domínio Hídrico: leito das linhas de água e respectiva faixa de protecção de 10 m para além do leito (Aviso n.º 1534/2014, de 3 de Fevereiro)
	Albufeiras de Águas Públicas (Monte Gato, Monte Miguéis, Pomarinho) (DL n.º 107/2009, de 15 de Maio; Portaria n.º 522/2009, de 15 de Maio)
	Áreas sujeitas a POA's (Monte da Rocha e de Santa Clara) (RCM n.º 154/2003, de 29 de Setembro; RCM n.º 185/2007, de 21 de Dezembro)
	Pedreiras (Aviso n.º 1534/2014, de 3 de Fevereiro)
	Aproveitamentos hidroagrícolas e respectiva faixa de protecção às infra-estruturas de rega e drenagem nunca inferior a 5 m (DL n.º 86/2002, de 6 de Abril)
	Áreas de REN classificadas como leito e respectiva margem dos lagos, lagoas e albufeiras e nas áreas de instabilidade e de vertentes (DL n.º 239/2012, de 2 de Novembro)
	Património arqueológico classificado (Castro da Cola (MN), Cerro do Castelo ou Forte de Garvão (IIP) e Necrópole da Atalaia (MN)) (Decreto de 16-06-1910, de 23 de Junho; Decreto n.º 29/1990, de 17 de Julho; Decreto n.º 24/2013)
	Linhas eléctricas e respectiva faixa <i>non aedificandi</i> (de 20 m para linhas cuja potência é de 30 kV e de 50 m para as linhas cuja potência é de 150 kV) (Aviso n.º 1534/2014, de 3 de Fevereiro)
	Rede Viária e respectivas faixas de protecção (AE/IP – 50m, IC – 35 m, EN e restantes estradas – 20m para cada lado do eixo da estrada, EM 6 m e CM 4,5 m medidas a partir do eixo da via) (Lei n.º 2110/1961, de 19 de Agosto; Lei n.º 34/2015, de 27 de Abril)
	Rede ferroviária e faixa de protecção (nunca inferior a 10m) (DL n.º 276/2003, de 4 de Novembro)



Critérios	
Tipo	Especificação
	Troço de ligação entre os centros radioeléctricos da Fóia e Castro Verde e respectiva faixa (37m) (Decreto-Regulamentar n.º 59/1984, de 13 de Agosto)
	Marcos geodésicos e respectiva área de protecção (área circunjacente ao sinal, nunca inferior a 15 metros de raio) (DL n.º 143/82, de 26 de Abril)
	Áreas urbanas com limite de perímetro urbano definido
	Áreas sujeitas a Planos de Pormenor (Campanador e Quinta da Arrábida – Monte da Rocha)

Tabela 4 – Identificação dos critérios para aplicação do modelo ao caso de estudo

Fonte: Elaboração própria

As áreas de exclusão constituem áreas a suprimir da análise por opção ou por não se compatibilizarem com o uso em estudo, muitas vezes por via da imposição legal. Neste sentido, importa realçar que neste estudo, uma vez que as áreas urbanas estão já sujeitas a outras pressões (nomeadamente as urbanísticas) que muitas vezes determinam um valor ou custo por m<sup>2</sup> mais elevado, têm limitações ao nível da área de implantação e do próprio uso, e por corresponderem a cerca de 0,5% da área total do concelho. As áreas urbanas com limite de perímetro urbano definido são excluídas da análise por opção, crendo-se que o estudo da aptidão solar nestes áreas deve subjugar-se a uma metodologia na óptica do potencial da cobertura do edificado que difere da lógica adoptada para as áreas rurais.

## 5.5 Aplicação da Metodologia ao Caso de Estudo

O modelo conceptual seleccionado para a aferição da aptidão territorial fotovoltaica, representado na figura 16 no ponto 4.2 Modelação SIG do capítulo 4, é de aplicação directa em software SIG. A seguir apresenta-se identificação dos passos e operações utilizadas para a implementação do modelo com recurso ao software *ArcGIS 10.2*, especificamente com o *Model Builder* e as extensões *Analysis*, *Conversion*, *Data Management* e *Spatial Analyst Tools* e respectiva justificação das opções tomadas.

### 5.5.1 Pré-Processamento

No exercício prático assumiu-se como sistema de referência do projecto o ETRS89/PT-TM06, por ser o sistema tido como o oficial a adoptar em Portugal Continental em matéria de cartografia para utilização pública conforme ponto 1 do artigo 3º-A do DL n.º 141/2014 de 19 de Setembro. Prevendo já que o resultado do trabalho possa ser considerado um instrumento para a autarquia de Ourique em matéria de avaliação estratégica do potencial solar do concelho, a normalização do sistema de referência foi efectuada, na sua generalidade, de acordo com os parâmetros de transformação das grelhas no formato NTV2 da DGT, disponíveis no sítio de internet da instituição (DGT, 2013) e de acordo com os procedimentos descritos em Gonçalves (2014), com as devidas adaptações às grelhas em causa.

Tendo em consideração a variedade de formatos, escalas, cobertura e sistemas de referência dos dados de base recolhidos e referenciados na tabela 3, surge a necessidade de, nesta fase de Pré-processamento, especificar as características gerais do projecto, adequar os limites e extensão da análise aos limites da área em estudo, normalizar formatos, harmonizar sistemas de referência e efectuar um conjunto de

operações de preparação prévia da informação em formato vectorial antevendo a posterior conversão e análise raster.

Assim, no software ArcGIS, efectuaram-se as seguintes operações gerais:

- Criação de um projecto com o nome OURIQUE\_SOLAR;
- Especificação do sistema de referência do projecto como o ETRS89/PT-TM06 com o código EPSG: 3763, cuja unidade de medida é o metro;
- Definição da directoria de trabalho C:/OURIQUE\_SOLAR onde serão armazenados todos os dados de base, derivados e finais;
- Criação de uma *geodatabase* (gdb) OURIQUE\_SOLAR.gdb dentro da directoria de trabalho onde serão guardados todos os dados permanentes gerados;
- Identificação dos elementos necessários à produção da máscara de análise de forma a identificar especificamente a área de estudo, ou seja, o Concelho de Ourique.

Seguiu-se a execução de um conjunto de tarefas específicas e rotineiras de preparação prévia dos temas vectoriais relativos aos factores de produtividade, condicionantes territoriais e áreas de exclusão. Assim, com recurso às ferramentas de generalização do ArcGIS, efectuaram-se um conjunto de operações de agregação através das ferramentas para juntar atributos e geometrias de temas adjacentes numa única *feature class* e para agregar as geometrias com atributos comuns de cada um dos temas numa única *feature class* temática dos temas relativos aos factores de produtividade (linhas eléctricas de baixa e média tensão e rede viária nacional e municipal classificada).

Em relação às condicionantes territoriais (RAN, Montado, classes das áreas de sustentabilidade do ciclo da água e das áreas de prevenção de riscos naturais REN, RN2000 e áreas ardidas), esta fase incluiu, genericamente, a harmonização do sistema de referência dos dados ao do projecto; e a obtenção de uma *feature class* simplificada de todas as condicionantes do Concelho de Ourique, com uma geometria por cada condicionante cuja identificação é possível através de um campo na tabela de atributos.

De forma a cobrir todas as especificações identificadas na tabela 4, para as áreas de exclusão, optou-se por um tratamento temático individualizado seguido de agregação da informação com vista a obter uma única *feature class* com uma única geometria que representa todas as áreas de exclusão do Concelho de Ourique. Para isso tornou-se necessário executar um conjunto de tarefas, tais como: a vectorização sobre ortofotomapa disponível através do *basemap* do ArcGIS ou sobre carta militar da série cartográfica nacional à escala 1/50000 disponível no IGEO via *Web Map Service* (WMS) das condicionantes relativas ao Património arqueológico e Telecomunicações; a definição e transformação do sistema de referência dos dados; a selecção das áreas de exclusão derivadas de diferentes fontes de informação (as Albufeiras e as classes da REN que correspondem ao leito e respectiva margem dos lagos, lagoas e albufeiras e nas áreas de instabilidade e de vertentes); o cálculo da faixa de protecção ou raio, nos casos devidos; a adequação dos dados à cobertura do Concelho de Ourique; e, finalmente, a agregação de todas as geometrias

dissolvendo as suas fronteiras de forma a obter uma *feature class* com todas as áreas de exclusão através das ferramentas de generalização.

### 5.5.2 Processamento Raster

Esta é a fase de geração dos dados matriciais para posterior aplicação da análise multicritério, incluindo a elaboração da carta de declives e orientações, o cálculo da radiação solar global, a conversão dos dados do modelo de dados vectorial para matricial, o cálculo das distâncias euclidianas às linhas eléctricas e às estradas, seguido de um conjunto de operações de reclassificação (figura 20).



Figura 20 – Fluxograma das operações na fase do Processamento Raster  
Fonte: Elaboração Própria

Tendo em conta que o MDE proveniente de imagem de satélite do ASTER-GDEM2 do METI/NASA já estava gerado, as operações efectuadas no ArcGIS relativamente a este tema resumem-se à harmonização do sistema de coordenadas (de WGS84 para o ETRS89PTTM06); à adequação do MDE à cobertura e área de análise; e à elaboração de duas carta de declives, uma em percentagem para representação do resultado obtido (figura 21, versão ampliada em anexo, no mapa 1), e outra em graus, para derivação da carta de orientações (figura 22, versão ampliada em anexo, no mapa 2).

Ourique apresenta, portanto, uma clara diferenciação da topografia por quadrante ou localização, com o extremo Norte e Centro a concentrar os declives mais baixos (até aos 6%) e o extremo Sul a concentrar os

declives mais acentuados, sendo que os declives superiores a 9% são os declives predominantes no concelho (figura 21). Já em termos de orientações ou exposição das encostas, embora a figura 22 não tenha uma leitura fácil, pela análise dos dados observa-se que Ourique apresenta uma distribuição quase uniforme por quadrante de orientação, pese embora a breve importância das encostas orientadas a Sul – Sudoeste (entre os 180° e os 225°).

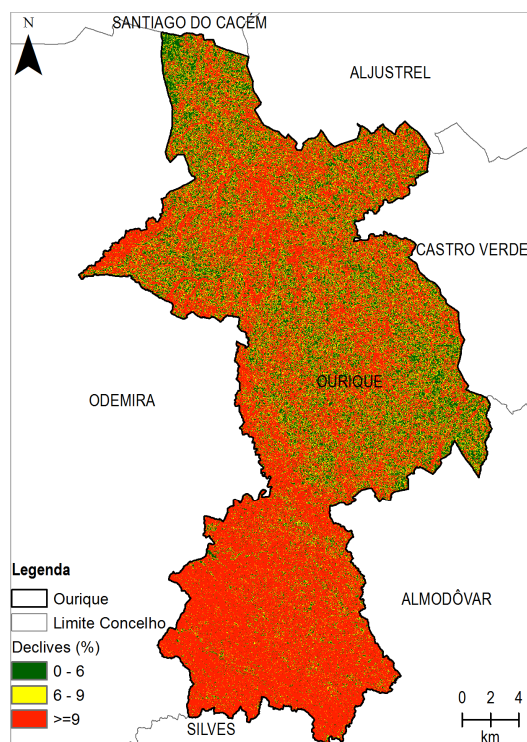


Figura 21 – Declives do Concelho de Ourique em %  
Fonte: Elaboração própria (DGT, 2014a; NASA, 2012)

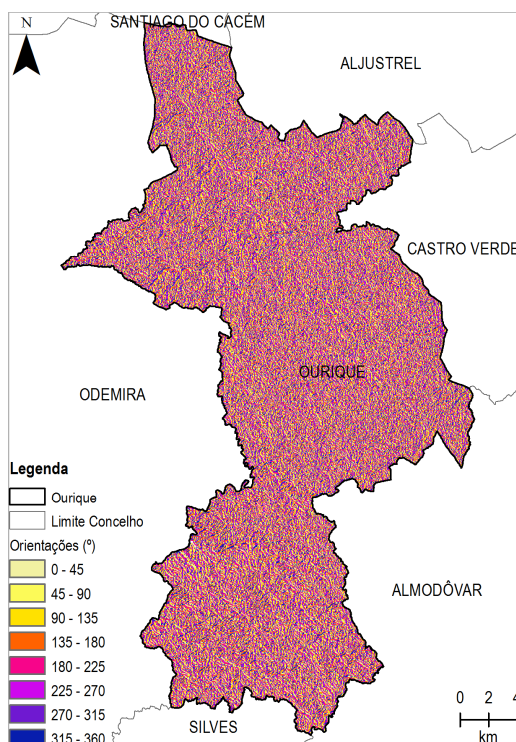


Figura 22 – Orientações do Concelho de Ourique em (°)  
Fonte: Elaboração própria (DGT, 2014a; NASA, 2012)

Tendo em atenção que a orientação das encostas é uma variável que só por si não tem grande significado no seio da análise e de forma a ir de encontro ao especificado na tabela 4 relativa aos critérios para a aferição da aptidão territorial fotovoltaica para Ourique, torna-se fundamental efectuar uma combinação dos melhores declives (os declives mais baixos) com as orientações mais adequadas (essencialmente Sul), um pouco à semelhança do trabalho de Hott *et al* (2012). Para isso optou-se pela reclassificação das cartas de declives e de orientações, para 3 classes, priorizando os baixos declives e as orientações Sul (entre os 135° a 225°), respectivamente, através da reclassificação e de fórmulas de selecção combinada baseada em álgebra de mapas, de forma a obter um raster com todas as combinações necessárias (figura 23, versão ampliada em anexo, no mapa 3 e tabela 5).

Através da combinação das classes mais adequadas dos Declives com as Orientações observa-se que, apesar do leve predomínio dos declives entre os 6 e 8% inclusivé cujas encostas estão orientadas a Sul, os declives menores ou iguais que 5%, independentemente da orientação, ocupam uma posição de destaque, representando cerca de 40% do total.

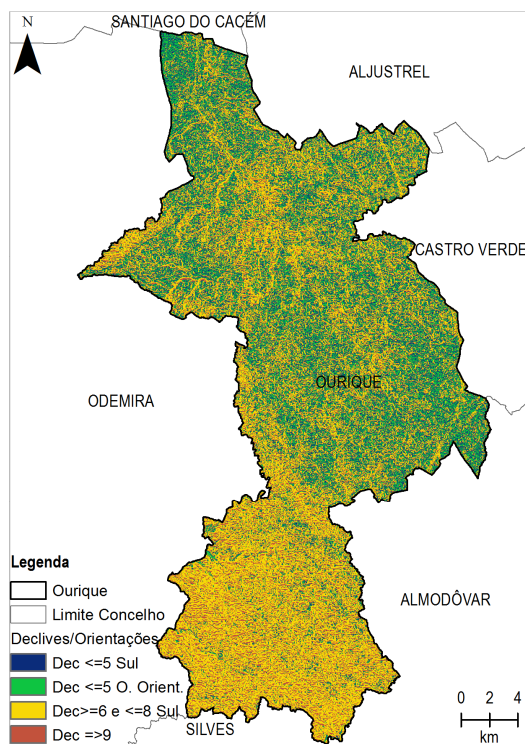


Figura 23 – Combinação dos Declives com Orientações  
Fonte: Elaboração própria (DGT, 2014a; NASA, 2012)

Condições Declives/Orientações	Classes de Reclassificação
Declives <=5 Sul	4
Declives <=5 restantes orientações	3
Declives >=6 e <=8 Sul	2
Declives >=6 e <=8 restantes orientações e Declives >= 9	1

Tabela 5 – Classes de reclassificação da combinação dos Declives com as Orientações  
Fonte: Elaboração própria

Para o cálculo da radiação solar global (valor de extrema importância no que toca ao PV) para Ourique recorreu-se à ferramenta *Area Solar Radiation* do menu *Solar Radiation* da extensão *Spatial Analyst Tools* tendo sido definidas as seguintes especificações:

- O MDE do ASTER-GDEM2 do METI/NASA reprojectado para o sistema de referência adoptado como o do projecto e extraído com base no limite do Concelho de Ourique foi assumido como raster de base para a cálculo da radiação solar cujo resultado será guardado na Gdb do projecto;
- A latitude, preenchida automaticamente e com base no MDE, corresponde a cerca de 37,34;
- Foi assumido o valor padrão (200 células) para o tamanho ou resolução do *viewshed*, *sky map* e do *sun map grids*, considerado como suficiente para intervalos de dias grandes;
- Assumido como período de temporal o ano de 2011, com intervalos de 24 horas padrão, por ser o ano de aquisição da imagem de satélite do MDE e de forma a obter por derivação os valores médios da radiação solar global para este ano, pois são os valores médios anuais de potencial de produção que são importantes em termos de viabilidade, rentabilidade e investimento;
- Adoptado o valor padrão 1 para o factor z pois o x, y e z têm as mesmas unidades de medida que a superfície;
- Assumido que os declives e as orientações são incluídas na análise e obtidos a partir do MDE;
- Definido o valor 32 para as direcções de cálculo do mapa de *viewshed* uma vez que o território em análise apresenta uma topografia complexa e o MDE de base tem uma resolução na ordem dos 30m;
- Assumido o valor padrão (8) para o número de divisões na vertical, em relação ao zénite, utilizadas para criar o *sky map*;

- Assumido o valor padrão (8) para o número de divisões na horizontal, em relação ao Norte, utilizadas para gerar os sectores no *sky map*;
- Assumido o modelo padrão (modelo difuso uniforme) relativamente ao modelo de radiação difusa admitindo que a radiação difusa é a mesma em todas as direcções do céu;
- Assumido o valor padrão (0,3) para a proporção do fluxo radiação solar difusa, admitindo condições de céu geralmente limpo, uma vez que não se obteve dados relativamente às condições atmosféricas;
- Admitido o valor padrão (0,5) considerando assim condições de céu geralmente limpo, uma vez que não se obteve informação que permitisse uma maior especificação do efeito da transmissividade da radiação solar para Ourique (ESRI, 2014).

Da execução desta ferramenta resultaram 4 rasters que representam a radiação solar global; a radiação solar directa; a radiação solar difusa e o número de horas de radiação directa, para o ano de 2011. Ourique regista em média, neste período, um valor de 3,6 kWh/m<sup>2</sup>/dia de radiação solar global, cujo valor mínimo é de 1,80 kWh/m<sup>2</sup>/dia e o máximo é de 4,08 kWh/m<sup>2</sup>/dia, revelando uma concentração dos valores mais baixos na freguesia de Santana da Serra, freguesia que apresenta a maior irregularidade topográfica e declives mais elevados (figura 24, versão ampliada em anexo, no mapa 4). O raster correspondente à radiação solar global foi submetido a operação de reclassificação em 4 classes (tabela 6) dando primazia aos maiores níveis de radiação solar global, respeitando as classes naturais dos dados com recurso à reclassificação tal como no trabalho de Ignizio (2010).



Figura 24 – Radiação solar global do Concelho de Ourique para o ano de 2011 em kWh/m<sup>2</sup>/dia  
Fonte: Elaboração própria (DGT, 2014a; NASA, 2012)

Radiação solar global (kWh/m <sup>2</sup> /dia)	Classe – Reclassificação
3,69 – 4,08	4
3,58 – 3,69	3
3,18 – 3,58	2
1,80 – 3,18	1

Tabela 6 – Classes de reclassificação da Radiação solar global

Fonte: Elaboração própria



Para o mesmo período temporal (2011) e de acordo com os dados cedidos pelo IPMA (2015c) os valores médios de radiação solar global registados para Ourique segundo dados do IPMA (2015c) são ligeiramente superiores, na ordem dos 5,02 kWh/m<sup>2</sup>/dia, cujos valores máximos chegam aos 7,70 kWh/m<sup>2</sup>/dia no mês de Julho e os mínimos aos 2,26 kWh/m<sup>2</sup>/dia no mês de Janeiro, facto que revela a concentração dos valores mais altos nos meses de Verão (Maio a Agosto) e dos valores mais baixos nos meses de Inverno (Novembro a Fevereiro) (IPMA, 2015c).

Uma vez reconhecido que a temperatura é determinante para o solar fotovoltaico já que afecta a produtividade do sistema sempre que a temperatura ambiente ultrapassa os 25°C (especialmente para os casos em que os locais propostos para a implantação registem valores de temperatura acima dos 25°C para grande parte do ano), optou-se por incluir esta variável no cálculo da aptidão (Associação e-LEE, 2003; Carrión *et al*, 2008; Boxwell, 2011; PPSEC, 2013). Assim, e tendo em conta que o efeito da temperatura é mais relevante durante as horas mais quentes do dia (quando a radiação solar é maior) utilizou-se o raster da temperatura média máxima dos 3 meses mais quentes do período 1961-1991 para Portugal Continental elaborado por Monteiro-Henriques (2010) (Boxwell, 2011). Para inclusão no modelo foi necessário efectuar a transformação do sistema de coordenadas dos dados de forma a harmonizá-lo com o do projecto; adequar a cobertura dos dados ao limite do Concelho de Ourique (figura 25, versão ampliada em anexo, no mapa 5); e reclassificar a informação, priorizando as temperaturas médias máximas mais baixas (tabela 7).

As temperaturas médias máximas dos meses mais quentes (Junho, Julho, Agosto) no Concelho de Ourique para o período em consideração (1961-1991) variam entre os 21,48°C e os 23,97°C, cujos valores mais baixos são registados no extremo Sudoeste do concelho (ex-freguesia de Santa Luzia) e junto das linhas de água de maior importância e seus vales encaixados.

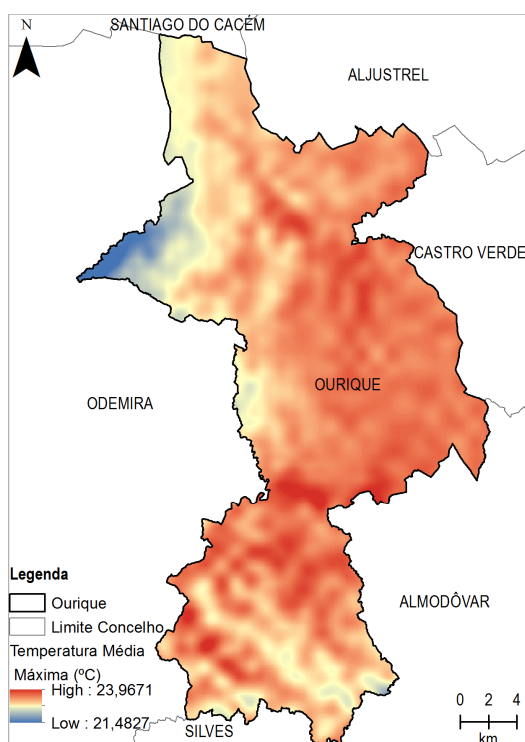


Figura 25 – Temperaturas médias máximas dos meses mais quentes do Concelho de Ourique, em °C (1961-1991)

Fonte: Elaboração própria (Monteiro-Henriques, 2010; DGT, 2014a)

Temperatura Média Máxima (°C)	Classe – Reclassificação
21,48 – 22,46	4
22,46 – 23,02	3
23,02 – 23,35	2
23,35 – 23,97	1

Tabela 7 – Classes de reclassificação da Temperatura  
Fonte: Elaboração própria

Seguiram-se operações de conversão do modelo de dados de vector para raster dos restantes temas com influência no modelo (linhas eléctricas, rede viária e condicionantes) através da ferramenta *Feature to Raster* do menu *To raster* da extensão *Conversion Tools*, utilizando como *extent* o limite do concelho e seleccionado a resolução do raster igual à do MDE, ou seja, um valor de 27,6536407023426 de resolução da célula, uma vez que não existe informação acerca da resolução das linhas eléctricas e rede viária e no caso das condicionantes essa resolução é muito próxima da escala ou resolução dos dados de origem.

De forma a materializar os critérios relativos à proximidade às linhas eléctricas e às boas acessibilidade rodoviárias, factos com influência na produtividade do sistema fotovoltaico e no investimento necessário, procedeu-se ao cálculo das distância euclidianas para estes temas com base no *Euclidean Distance*, do menu *Distance* da extensão *Spatial Analyst* do ArcGIS, utilizando como *extent* o limite do concelho e seleccionado a resolução do raster de output igual à do MDE, do qual resultaram dois rasters (figuras 26 e 27, versões ampliadas em anexo, no mapa 6 e 7, respectivamente) que representam as distâncias em linha recta relativamente às linhas eléctricas de média e baixa tensão e à rede viária nacional e municipal classificada.

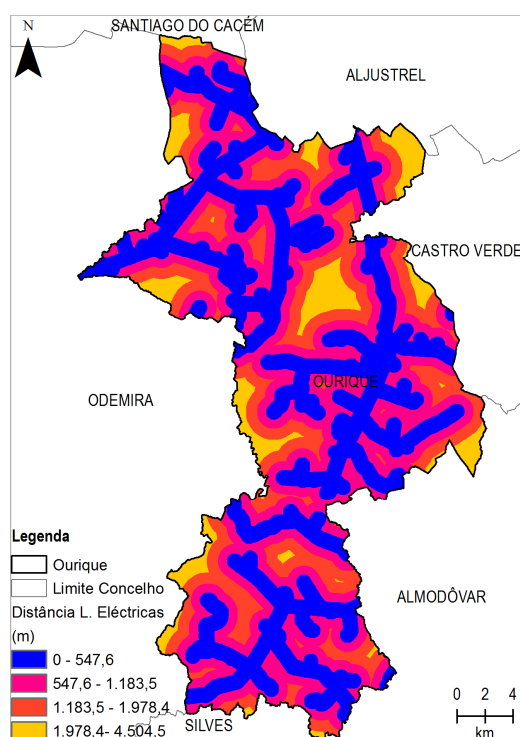


Figura 26 – Distâncias Euclidianas às Linhas Eléctricas de Média e Baixa Tensão, em metros, para Ourique  
Fonte: Elaboração própria (CMO, 2014b; DGT, 2014a)

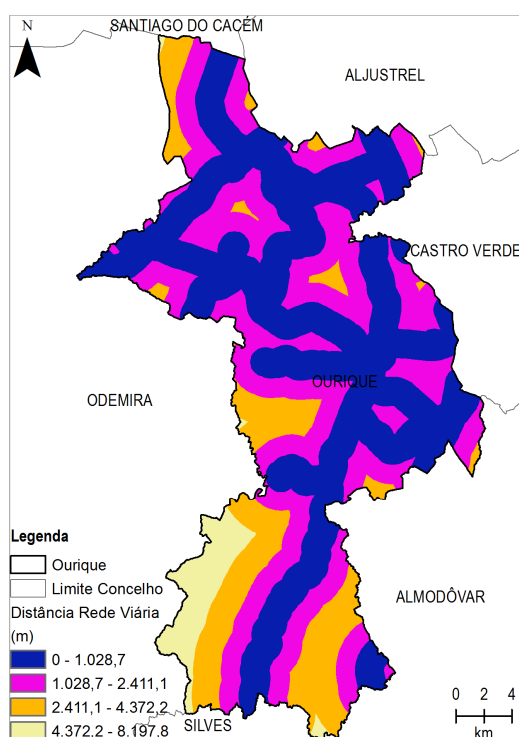


Figura 27 – Distâncias Euclidianas à Rede Viária Nacional e Municipal, em metros, para Ourique  
Fonte: Elaboração própria (CMO, 2014e; DGT, 2014a)

Sucederam-se operações de adequação dos temas supramencionados à cobertura da área de estudo e de reclassificação dos mesmos conforme categorização constante da tabela 8, conforme lógica adoptada no trabalho de Ignizio (2010).



Distância Euclidiana às Linhas Eléctricas de Média e Baixa Tensão (m)	Classe – Reclassificação	Distância Euclidiana à Rede Viária (m)
0 – 547,51	4	0 – 388,81
547,51 – 1177,47	3	388,81 – 1288,96
1177,47 – 1980,28	2	1288,96 – 3372,97
1980,28 – 4504,49	1	3372,97 – 8197,80

Tabela 8 – Classes de reclassificação das linhas eléctricas e rede viária  
Fonte: Elaboração própria

E por último, no caso das condicionantes, após conversão do modelo de dados conforme acima descrito, do qual resultou um raster (figura 28, versão ampliada em anexo, no mapa 8), procedeu-se à reclassificação em 4 classes das condicionantes, com base no campo tipo, dando primazia às áreas cujas classes implicam menos burocracia (tabela 9).

As condicionantes territoriais identificadas e cujos dados recolhidos permitem a entrada no modelo de avaliação da aptidão territorial fotovoltaica cobrem cerca de 94,2% do território do Concelho de Ourique, dos quais a REN representa a maior fatia (40,6%), seguida do Montado (25,1%), da RN2000 (16,4%), da RAN, (9,9%) e das áreas ardidas (2,2%).

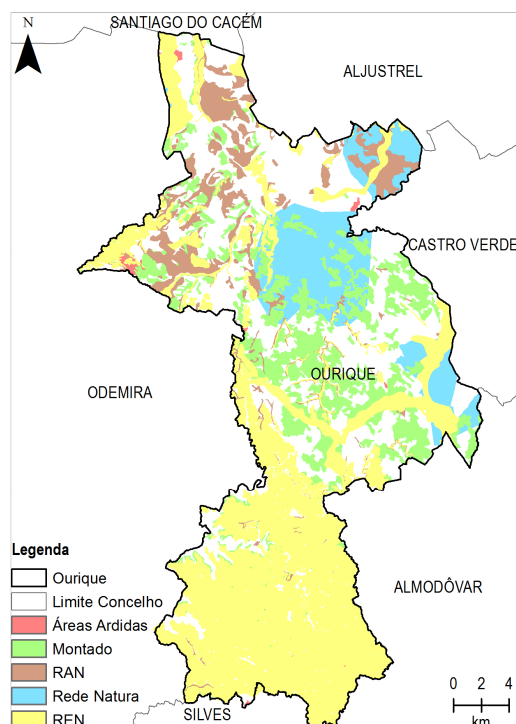


Figura 28 – Condicionantes Territoriais de Ourique  
Fonte: Elaboração própria (CMO, 2001; ICNF, 2012; ICNF, 2013; DGT, 2014a; CCDRA, 2015)

Condicionantes	Classe – Reclassificação
Áreas ardidas	3
Montado	3
REN	2
RAN	2
RN2000	1
Nodata	4

Tabela 9 – Classes de reclassificação das condicionantes  
Fonte: Elaboração própria

Em termos da categorização das condicionantes entendeu-se que por ordem decrescente de aptidão a RN2000 é a classe com menor aptidão uma vez que implica a elaboração de AIA para a utilização fotovoltaica para produção de energia limitando em termos de MW; a RAN e REN são entendidas como classe com alguma aptidão pois em termos burocráticos e de exigência processual é mais leve, carecendo

de autorização ou de parecer favorável; seguindo-se as áreas de Montado e as áreas ardidas, que embora tenham as suas restrições no seio das condicionantes são das que implicam procedimentos menos rígidos e lógicas mais maleáveis.

### 5.5.3 Análise Multicritério

De forma obter uma carta de aptidão territorial fotovoltaica para o Concelho de Ourique que combine e sobreponha os vários temas identificados como de especial importância nesta análise (factores de produtividade, condicionantes territoriais e áreas de exclusão) de acordo com diferentes graus de influência ou peso associados, recorreu-se à aplicação da análise multicritério integrada no ArcGIS, ou seja, à ferramenta *Weighted Sum* do menu *Overlay* da extensão *Spatial Analyst Tools* (figura 29).



Figura 29 – Fluxograma dos procedimentos da aplicação da análise multicritério  
Fonte: Elaboração própria

Identificados que estão os critérios, previamente tratados e reclassificados, por opção, para uma escala de 1 a 4 (menos apto e mais apto, respectivamente), organizados por temática em 6 rasters, antes da aplicação da análise multicritério, importa ponderar os pesos a atribuir a cada tema, dada a influência determinante no resultado. Embora não exista uma fórmula ou método único, inequívoco e uniforme, em resultado da consulta bibliográfica, os estudos, artigos, relatórios e teses similares na temática (fotovoltaico) e no objectivo (aptidão) incluem, genericamente, 4 critérios, que por ordem decrescente de importância, influência ou peso correspondem à topografia (embora numa lógica mais redutora sejam assumidos apenas os

declives), a radiação solar global, a proximidade às linhas eléctricas e as distâncias à rede viária, sendo as condicionantes territoriais entendidas, na maior parte dos casos, como áreas de exclusão. Exemplo disso são os trabalhos de: Ignizio (2010) cuja avaliação da aptidão PV inclui a lógica acima mencionada embora a análise multicritério aplicada corresponda ao método *Booleano*; Clifton *et al* (2010) cuja avaliação da aptidão, neste caso de CSP, embora inclua os 4 critérios acima identificados, revela uma lógica dos conjuntos *Fuzzy* e método *Booleano* no que toca à análise multicritério, sendo a aptidão o resultado da combinação da adequação e da capacidade sem especificar o peso de cada variável; e Tisza (2014) que na aplicação da análise multicritério cujo método seleccionado corresponde ao *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions* (TOPSIS) tem em conta um conjunto de critérios técnicos (proximidade às linhas eléctricas, proximidade às principais estradas, evolução da população e uso do solo), ao nível do recurso (radiação solar), económicos (relativos ao preço da electricidade e sua evolução) e políticos (ao nível de incentivos e políticas), cujos últimos dois tipos de critérios não são alvo de modelação em SIG e cujos os pesos foram atribuídos de acordo com três cenários.

Assim, a categorização adoptada reflecte uma lógica de priorização dos critérios técnicos relativos aos declives conjugados com as orientações, seguido do critério relativo ao recurso, neste caso a radiação solar global, dos critérios técnicos que afectam o recurso, neste caso a temperatura, dos critérios técnicos que afectam o investimento, ou seja, proximidade às linhas eléctricas e rede viária e dos critérios que afectam a adequabilidade do território, ou seja, as condicionantes (tabela 10).

Variável	Peso
Declives/Orientações	5
Radiação solar global	4
Temperatura	3
Proximidade às Linhas Eléctricas	2
Proximidade à Rede Viária	2
Condicionantes Territoriais	1

Tabela 10 – Pesos atribuídos a cada variável na análise multicritério  
Fonte: Elaboração própria

De forma a obter uma Carta de Aptidão que permita uma análise mais detalhada optou-se por reclassificar o resultado da ferramenta *Weighted Sum*, para uma escala crescente de aptidão de 9 classes, possibilitando a organização da aptidão em três grandes grupos (baixa de 1 a 3, média de 3 a 6 e alta aptidão de 6 a 9), seguida de posterior extracção das áreas de exclusão.

## 5.6 Apresentação dos resultados

Da execução dos procedimentos acima mencionados resultou uma Carta de Aptidão Territorial Fotovoltaica para o Concelho de Ourique (figura 30, versão ampliada em anexo, no mapa 9), cujo resultado está intimamente relacionado com as opções, especificações e pesos adoptados, e com a escala, qualidade, resolução e cobertura dos dados de base. Na figura 30, as áreas de exclusão, áreas cuja utilização fotovoltaica está interdita, estão representadas a cinzento, as áreas de menor aptidão estão representadas

numa escala de laranjas, as aptidões moderadas numa escala de verdes e as melhores aptidões numa escala de azuis.

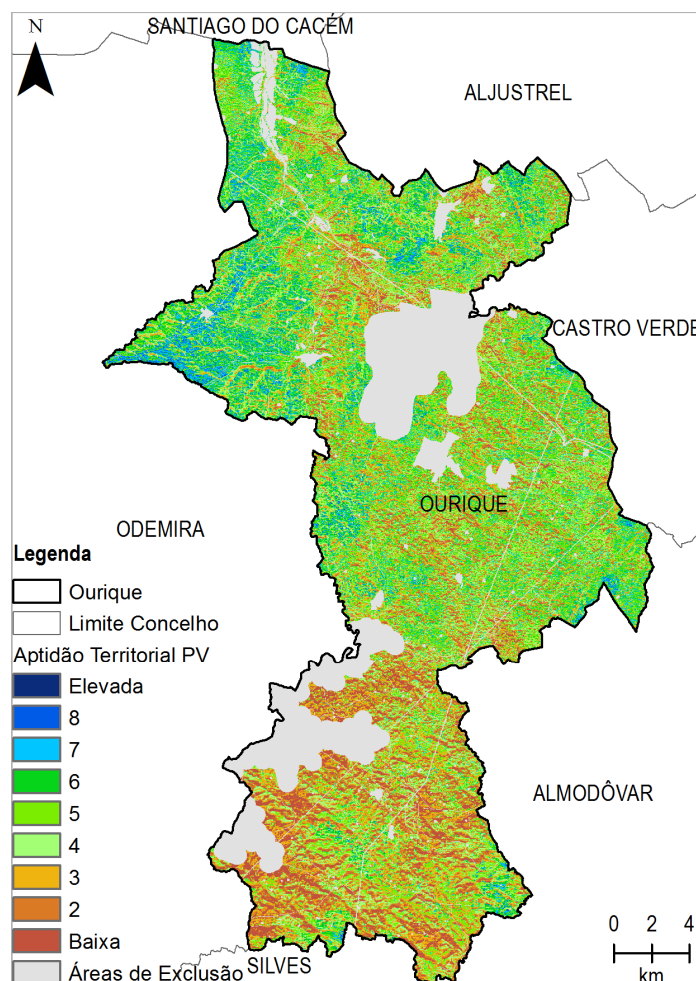


Figura 30 – Aptidão Territorial Fotovoltaica do Concelho de Ourique

Fonte: Elaboração própria (CMO, 2001; Monteiro-Henriques, 2010; ICNF, 2012; NASA, 2012; ICNF, 2013; CMO, 2014a-e; DGT, 2014a; CCDRA, 2015)

Embora à primeira vista o resultado obtido não revele uma clara aptidão territorial fotovoltaica do concelho, numa análise mais atenta, Ourique apresenta uma aptidão moderada dado o claro predomínio dos verdes, classes de média aptidão, quer em termos visuais, quer em termos de pixéis e área ocupada, representando cerca de 46,9% do total da área do concelho. Importa ainda referir que em termos do total, as classes de maior aptidão têm maior representatividade que as de menor aptidão (figura 30 e tabela 11).

As classes mais aptas localizam-se no quadrante Norte e Centro do concelho, ao contrário das áreas menos aptas que coincidem na sua quase maioria com a freguesia de Santana da Serra, revelando uma clara correlação com as características da topografia dos terrenos e com as zonas mais despovoadas. Refira-se ainda a coincidência espacial das áreas tidas como mais aptas com as áreas integradas na RN2000, nomeadamente, as ZPE's de Castro Verde e das Piçarras, embora com maior expressão na última, onde as classes de aptidão moderada e alta correspondem a cerca de 85% do total da área desta ZPE no Concelho de Ourique, correspondendo a cerca de 1800 ha. Quanto às áreas de exclusão, representam cerca de 16%

do território do concelho e estão definidas por defeito tendo sido consideradas apenas as possíveis de derivar a partir dos dados de base.

Aptidão territorial fotovoltaica de Ourique			Área (ha)	Proporção em termos do total (%)	
Código	Classes	Descrição		Classes	Descrição
0	n.a.	Áreas de Exclusão	10633,70	16,03	16,03
1	Baixa	Inapta	653,66	16,13	0,99
2		Aptidão Muito Baixa	3470,03		5,23
3		Aptidão Baixa	6573,94		9,91
4	Média	Aptidão Média / Baixa	8804,61	46,94	13,27
5		Aptidão Média	11100,74		16,74
6		Aptidão Média / Alta	11225,90		16,93
7	Alta	Aptidão Alta	8395,25	20,90	12,66
8		Aptidão Muito Alta	4513,46		6,80
9		Aptidão Elevada	954,63		1,44
		Total	66325,95	100,00	100,00

Tabela 11 – Aptidão territorial fotovoltaica no Concelho de Ourique, por classes, área e percentagem  
Fonte: Elaboração própria

Em última instância, verificou-se que a maior parte dos projectos fotovoltaicos projectados ou existentes no Concelho de Ourique, para os quais se conhece a localização, situam-se nas de aptidão moderada, cuja localização foi essencialmente determinada pela proximidade às linhas eléctricas.

## 5.7 Conclusões do capítulo

A aplicação da metodologia ao caso de estudo permitiu uma maior e melhor calibração, justificação e aperfeiçoamento do próprio modelo, cujo resultado apresenta uma forte dependência dos dados de base, em específico das suas características, cobertura e abrangência. Apesar das limitações do estudo, relacionadas com os dados, especificidades ou parâmetros utilizados nalgumas ferramentas por desconhecimento ou indisponibilidade de dados, este trabalho exemplifica uma metodologia tida como adequada à avaliação da aptidão territorial fotovoltaica e como modelo, corresponde a uma tentativa mais aproximada possível à realidade extremamente complexa, onde os SIG's desempenham um papel determinante pelas possibilidades de tratamento, processamento e análise espacial e multicritério que permitem.

Ourique, embora apresente uma aptidão maioritariamente moderada relativamente a projectos solares fotovoltaicos, tem uma área de cerca de 14000 ha classificada como de alta aptidão. Pese embora a evolução tecnológica, assumindo condições e características semelhantes à da Central Fotovoltaica da Amareleja, em Moura, nomeadamente em termos de tipo de tecnologia PV com orientação azimutal com painéis de silício policristalino, 14 000 ha permitiriam a instalação de 56 projectos com uma área semelhante ao projecto de Moura, com uma potência na ordem dos 2576 MWp, num total de 5208 bilhões de kW, o suficiente para abastecer 1 680 000 habitações (cerca de 30% dos alojamentos de Portugal Continental em 2011) e evitar a emissão anual de cerca de 5005,5 toneladas de CO<sub>2</sub> (INE, 2011a; CMM, 2015).

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 6.1 Discussão dos resultados

Portugal, país essencialmente consumidor de energia proveniente de recursos fósseis, nomeadamente do petróleo, apresenta uma forte dependência energética face ao exterior dada a escassez de recursos fósseis e, embora detenha uma comprovada disponibilidade de recursos energéticos renováveis, nomeadamente solares, congregando das melhores condições para aproveitamento do recurso solar da Europa, não tem conseguido tirar partido dessa potencialidade através da exploração massiva e inquestionável desses mesmos recursos (Proença, 2007; DGEG, 2014; Eurostat, 2015). De facto o desenvolvimento do PV em Portugal revela um ritmo lento e inferior ao expectável, facto particularmente preocupante dada a adequabilidade do território ao aproveitamento solar e à necessidade de cumprir metas e reduzir as emissões dos GEE derivados da geração de electricidade.

Em termos geográficos, o Alentejo, pelas suas características intrínsecas – um dos mais altos níveis de insolação e radiação da Europa e de Portugal, disponibilidade de espaço não edificado ou utilizado, percurso e experiência científica e tecnologia em matéria solar – é das regiões mais propícias para o aproveitamento da energia solar, nomeadamente a fotovoltaica (Carvalho, 2009; CCDRA, 2014; GTES, 2014).

Assim, da aplicação do modelo ao caso de estudo comprova-se que Ourique apresenta, de facto, uma aptidão para projectos solares fotovoltaicos, que embora maioritariamente moderada em função da influência das características topográficas do território, contempla uma área de cerca de 14000 ha classificada como de alta aptidão.

Quanto à aptidão territorial fotovoltaica de Ourique importa ainda realçar que, indo de encontro ao já percepcionado pelos peritos nesta matéria, à semelhança dos concelhos imediatamente adjacentes, as áreas consideradas como mais aptas (com melhores níveis de radiação solar, maior número de horas de sol, e no fundo, maior cobertura e abrangência dos factores de produtividade) correspondem às áreas integradas na RN2000, especificamente às áreas classificadas como ZPE de Castro Verde e Piçarras. Pela leitura da legislação específica em vigor, a instalação dum projecto PV em áreas afectas à RN2000, depende do entendimento do ICNF e de um conjunto de condições e características intrínsecas ao projecto (tipo de instalação, estrutura, potência, dimensão, entre outros aspectos), que vai ditar a sua efectiva instalação ou não e a complexidade do processo de execução (DL n.º 49/2005, de 24 de Fevereiro; DL n.º 142/2008, de 24 de Julho; DL n.º 151-B/2013, de 31 de Outubro).

Para além disso, em termos regionais, tendo em conta a rede ferroviária existente (apesar das suas características e necessidades de renovação ou electrificação) é de realçar o papel preponderante que as linhas ferroviárias do ramal de Beja e ramais adjacentes (embora desactivados) podiam desempenhar no

desenvolvimento e afirmação do *cluster* Solar no Baixo Alentejo, totalmente centrado na sustentabilidade (anulando os camiões TIR do processo de instalação das centrais, por exemplo), com zero emissões e plenamente autónoma do ponto de vista energético, com recurso a FER endógenas.

A aposta no solar fotovoltaico (pelas suas vantagens e pelo potencial de desenvolvimento) pode, efectivamente, ser entendida como uma solução ou mesmo uma possibilidade para garantir a igualdade de acesso a bens e serviços básicos à população em áreas como o Concelho de Ourique, cujo sistema urbano e de povoamento é caracterizado por uma forte dispersão da população, em pequenos aglomerados e geralmente montes (Carvalho, 2009; RCM n.º 29/2010, de 15 de Abril; APREN, 2012; CCDRA, 2014). No entanto, tendo em conta as limitações da tecnologia solar fotovoltaica, nomeadamente ao nível da capacidade de armazenamento (que é nula ou inexistente), muito provavelmente, num futuro próximo, a aposta na produção de energia e electricidade baseada em FER passará, certamente, por sistemas híbridos de produção através do binómio solar+eólico, numa tentativa de adequação entre a produção e o consumo de energia (IEA, 2014).

Neste sentido, crê-se que este trabalho de projecto, seu âmbito e aplicação não podiam estar mais adequados à actualidade, onde questões do foro ambiental, eficiência energética, economias verdes e, consequentemente, energias renováveis estão na voga (Greenpro, 2004; Grimoni *et al*, 2004; Moura e Sá, 2010; EPIA, 2012). Para além disso, acredita-se que este estudo e análise constituem uma importante contribuição para a temática (solar fotovoltaico) e para a área do caso de estudo (Ourique) pela lógica de implementação, pelo método de análise multicritério seleccionado e pela inexistência de estudos específicos desta natureza.

Numa época marcada por grandes alterações legislativas ao nível do ordenamento do território, pela regulamentação e abertura de mercados de energia e pela necessidade de cumprir ou pelo menos começar a cumprir metas nacionais e europeias assumidas em matéria de energia, estudos desta natureza podem ser especialmente úteis para a entender a real aptidão dos territórios, de forma a que os projectos ou investimentos solares fotovoltaicos se localizem nas áreas mais aptas do ponto de vista técnico e económico, com o mínimo de interferências negativas ao nível ambiental e social, numa lógica de efectivo planeamento estratégico (Azevedo *et al*, 1987).

Assim, crê-se (e tentou-se neste trabalho de projecto) que a aptidão territorial fotovoltaica deve reflectir uma lógica de concentração do maior número e valoração de factores de produtividade (altos níveis de insolação e radiação solar, declives suaves, orientações óptimas, temperaturas médias mais baixas, boas acessibilidades, proximidade a linhas eléctricas, entre outros) e o menor número de condicionantes territoriais identificadas nos IGT e legislação específica em vigor, de forma a garantir o rendimento ambicionado com o mínimo de interferências e impactos negativos ao nível dos ecossistemas ambientais, infra-estruturais, culturais e sociais, beneficiando a simplificação e deburocratização dos procedimentos

administrativos e de licenciamento que actuam como incentivo à concretização do investimento (NREL, 2006; EPIA, 2014)

No entanto, no seio do trabalho desenvolvido, por via da carga de condicionantes, restrições e servidões de utilidade pública, cuja génese está relacionada com a protecção e valorização ambiental e ecológica dos recursos com valor económico associado e com a necessidade de regulamentar os usos, seria interessante verificar a adequabilidade destas à realidade do território que revela profundas transformações.

Paralelamente, a aplicação da metodologia ao caso de estudo permitiu perceber a ambiguidade de alguns dados de entrada no processo de aptidão, como é o caso das linhas eléctricas e da rede viária, que por um lado funcionam como factores determinantes na produtividade do sistema fotovoltaico, admitindo-se que quanto mais próximo das linhas eléctricas e da rede viária melhor, pois implicam menos perdas de energia e menos custos de investimento; e por outro lado, funcionam como condicionantes ou áreas de exclusão pois exigem uma faixa de protecção entendida como *non aedificandi*. Esta constatação resulta dum certo grau de incerteza ou dúvida relativamente a um projecto solar fotovoltaico, ou seja, se deve ser entendido como edificação, indústria ou ambos – facto de extrema importância pois em função do seu cariz são determinadas as condicionantes ou áreas de exclusão.

É ainda de realçar que, apesar da tentativa de inclusão na análise das informações e dados disponíveis mais recentes, a complexidade e os meandros relativos à decisão de implantação ou execução do investimento envolve, certamente, detalhes e factores adicionais, impossíveis de considerar no âmbito deste trabalho, nomeadamente as questões relativas ao preço e disponibilidade de terrenos.

Embora possa parecer óbvio que a análise conjugada de um conjunto de critérios com representação espacial, que de acordo com determinada valoração em termos de influência se obtém a aptidão territorial fotovoltaica, é através de tecnologias e ferramentas disponibilizadas por software SIG, com recurso à análise multicritério, que essa avaliação e mapeamento são possíveis. Assim, o recurso à modelação e à análise multicritério em ambiente SIG revelou-se a opção mais acertada, fortemente justificado pelas possibilidades que disponibilizam em termos de técnicas de caracterização, análise, visualização e teste de alternativas que permite ao utilizador / investigador investigar determinados fenómenos e sustentar tecnicamente a tomada de decisões com base no conhecimento dos seus efeitos e do grau de incerteza intrínseco a esse processo (Goodchild *et al*, 1990; Malczewski, 2006; Ignizio, 2010; Eastman, 2012).

## **6.2 Identificação das principais limitações**

As principais limitações deste trabalho resumem-se, essencialmente, aos dados utilizados na aplicação da metodologia ao caso de estudo – sua disponibilidade, qualidade, cobertura e data.



Apesar de diversas tentativas, as entidades proprietárias dos dados tidos como os essenciais e imprescindíveis para qualidade do resultado (cartografia numérica vectorial 10k ou cartografia militar à escala 1/25000), ou não responderam ou não concederam autorização para a sua utilização gratuita, sendo os valores referenciados para a aquisição insuportáveis nesta fase do projecto. Por isso mesmo, o presente trabalho exemplifica, com os dados disponíveis ou gentilmente disponibilizados por algumas entidades, o cálculo da aptidão solar fotovoltaica, reflectindo a melhor adequação possível entre a cobertura e qualidade dos dados e a escala de trabalho (o concelho).

Uma vez que a modelação espacial em ambiente SIG baseia-se numa simplificação da realidade, possível e gerada sobre dados que representam e definem essa realidade ou a problematização em causa, crê-se, portanto, que a qualidade do resultado ficou deveras comprometida com a qualidade e resolução espacial e temporal dos dados de base (Cabral, 2011a; Neves, 2011a).

Para além disso, a grande dificuldade em obter dados que permitam dar cobro, de forma inequívoca e abrangente, à totalidade dos critérios identificados para o caso de estudo, quer sejam factores de produtividade, condicionantes ou áreas de exclusão, tem reflexos ao nível da veracidade e adequação do resultado à realidade.

Por outro lado, a radiação solar global – questão especialmente importante e determinante na aferição inicial da aptidão solar fotovoltaica de determinado território – é dada em função de um conjunto de condições, extremamente afectada pela localização da área em estudo, pela topografia (declives e orientações) e por condições climáticas e atmosféricas (Fu *et al*, 2000; Gastli, *et al* 2010; GTES, 2014). A indisponibilidade de dados necessários à calibração do cálculo da radiação solar global em matéria de condições climáticas e atmosférica, nomeadamente ao nível dos parâmetros de transmissividade e grau de difusão da atmosfera, surge como forte limitação no que toca ao resultado da execução da ferramenta *Area Solar Analyst* do ArcGIS na aplicação da metodologia ao caso de estudo. Ainda relacionado com a este tema, crê-se que a comparação dos valores obtidos na carta de radiação solar global com valores da radiação solar global registados e mesmo com medições *in situ* desta variável teria enriquecido o trabalho.

Por último, uma outra limitação deste trabalho está relacionada com a atribuição dos pesos aos critérios modelados na aplicação ao caso estudo, que embora sejam o reflexo da bibliografia de referência revelam um certo grau de maleabilidade em função da “vontade” ou dos principais intervenientes no processo e do “tacto” do analista SIG (Malczewski, 2006). De facto, uma análise de sensibilidade ao modelo poderia fortalecer a metodologia. No entanto, este trabalho permitiu o desenvolvimento de uma ferramenta para ser utilizada em conjunto com os stakeholders, logo, passível de ser adaptada a valores definidos com os stakeholders que expressem as diferentes vontades.

### 6.3 Propostas de desenvolvimentos futuros

Numa lógica de melhoria do produto apresentado, os trabalhos futuros acerca desta temática devem tentar colmatar as limitações previamente identificadas – especificamente ao nível das características, cobertura, abrangência e dimensão temporal dos dados, no que respeita à aplicação do caso de estudo – e incluir uma fase de validação do modelo conceptual apresentado como o adequado para a avaliação da aptidão territorial fotovoltaica.

Crê-se, portanto, que a melhoria do resultado apresentado na aplicação ao caso de estudo passa, por um lado, pela inclusão da totalidade dos critérios tidos como necessários e imprescindíveis à caracterização da aptidão territorial fotovoltaica, dada a influência que exercem nas condições que determinam a aptidão e, portanto, no resultado. Neste caso, incluem-se os relativos aos factores que afectam a produtividade do sistema PV, como as variáveis climáticas (nebulosidade e variabilidade e velocidade dos ventos); e às condicionantes que afectam ou restringem a adequabilidade do território a este uso, revelando-se muitas vezes as áreas de exclusão, por impedirem a implantação de projectos PV, como as relativas à infraestruturas de saneamento e abastecimento, captações e questões relativas à perigosidade e risco de incêndio florestal (Dahle *et al*, 2008; Associação e-LEE, 2003; Branco *et al*, 2011; Alves, 2013; PPSEC, 2013). Por outro lado, o resultado do exercício beneficiaria, certamente, com a inclusão de informação mais actualizada relativamente ao período temporal, por exemplo ao nível dos dados da temperatura.

Especificamente em relação à variável temperatura e tendo em consideração que: temperaturas ambiente superiores a 25°C influenciam a produtividade do sistema fotovoltaico (ainda que essa influência tenha um impacto residual na eficiência das células PV); e que o parâmetro utilizado (temperatura média máxima dos meses mais quentes para o período 1961-1991) introduz alguma arbitrariedade e pode favorecer a exclusão de boas aptidões, já que a geração fotovoltaica ocorre durante todo o ano e não apenas quando a radiação solar e temperatura registam os valores mais elevados (no verão); crê-se que em desenvolvimentos futuros seria interessante incorporar no cálculo da radiação solar e na aferição da aptidão territorial fotovoltaica, um parâmetro relativo à temperatura que permitisse uma caracterização mais abrangente e mais actualizada, como por exemplo, a temperatura média mensal de todos os meses de um determinado ano ou período (Associação e-LEE, 2003; Mayfield, 2010; Boxwell, 2011).

Em última instância, futuros projectos desta natureza devem incluir critérios que permitam a avaliação da aptidão numa escala mais ampla e abrangente, através da inclusão na modelação espacial de critérios do foro tecnológico (tipo de tecnologia e suas características), económico (ao nível das necessidades de energia, potencial de produção e proximidade aos centros consumidores, numa óptica de minimização das perdas de energia na rede de linhas de transmissão e de beneficiação da população imediatamente confinante e adjacente com o projecto) e financeiro (ao nível de incentivos e subsídios) à semelhança do preconizado por US EPA *et al* (2013).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 3TIER, 2015, *Glossary of Technical Renewable Energy Terminology*, (URL: <http://www.3tier.com/en/support/glossary/>, consulta em 29-03-2015).
- ABREU, Y., OLIVEIRA, M., e GUERRA, S., 2010, *Energia, Economia, Rotas Tecnológicas: Textos Seleccionados*, (Málaga: Universidade de Málaga), (URL: <http://www.eumed.net/libros-gratis/2010e/827/indice.htm>, consulta em 17-04-2012).
- AFONSO, C. S. P. V., 2008, *Infra-estruturas de Dados Espaciais nos Municípios – Contributo para a definição de um modelo de implementação*. Tese de mestrado, ISEGI/UNL, Lisboa.
- AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, 1974, [Carta I.1 – Insolação: Atlas do Ambiente Digital], Escala 1/1000000, 1 carta, ([Lisboa]: APA).
- AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, 2006, *Rios – Águas Superficiais – Atlas da Água, Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos*, (URL: <http://geo.snirh.pt/AtlasAgua/#>, consulta a 02-01-2015).
- AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, 2007, *Relatório do Estado do Ambiente 2006*, (Amadora: APA), (URL: <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=19&subref=139&sub2ref=460>, consulta 16-04-2012).
- AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, e COMITÉ EXECUTIVO DA COMISSÃO PARA AS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS, 2012, *Roteiro Nacional de Baixo Carbono – Análise Técnica das Opções de Transição para uma Economia de Baixo Carbono Competitiva em 2050*, (APA: Amadora).
- ALVES, M., 2013, *Impacto de Cenários de Alterações Climáticas nos Recursos Energéticos Renováveis: Sistema Eléctrico Português até 2070*. Tese de mestrado, FCT/UNL, Lisboa.
- AMS GLOSSARY, 2013, Página do Glossary of Meteorology do American Meteorological Society, (URL: [http://glossary.ametsoc.org/wiki/Main\\_Page](http://glossary.ametsoc.org/wiki/Main_Page), consulta em 26-03-2015).
- ASIAN DEVELOPMENT BANK, 2013, *Guidelines for Climate Proofing Investment in the Energy Sector*, (ADB: Mandaluyon City, Philippines).
- ASSOCIAÇÃO E-LEE, 2003, Página da Association for promotion of e-Learning tools for Electrical Engineering, (URL: <http://e-lee.ist.utl.pt/association/association.htm>, consulta em 25-10-2014).
- ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2012, *Linhas Estratégicas para a Revisão dos Planos Nacionais de Acção para as Energias Renováveis e Eficiência Energética*, Resposta à consulta pública (APREN: Lisboa).
- A.T. KEARNEY, e INSTITUTO DE ENGENHARIA DE SISTEMAS E COMPUTADORES DO PORTO, 2012, *Recomendações para uma estratégia sustentável de eficiência energética e exploração de energias renováveis em Portugal*, (Porto).
- AVISO n.º 1534/2014, D. R. II Série, **23 (03-02-2014)**, 3394-3404.

- AZEVEDO, A. J., e, MARQUES, C. V., 1987, *Insolação – Nota Explicativa I.1 do Atlas do Ambiente de Portugal*, (Lisboa: Secretaria de Estado do Ambiente e dos Recursos Naturais).
- BARIN, A., CANHA, L. N., e ABAIDE, A. R., 2009, Multicriteria Analysis of the Operation of Renewable Energy Sources taking as basis the AHP Method and Fuzzy Logic concerning Distributed Generation Systems, [Versão electrónica]. *The Online Journal on Electronics and Electrical Engineering*, **1** (1), 52-57.
- BARNHART, C., DALE, M., BRANDT, A., e BENSON, S., 2013, The energetic implications of curtailing versus storing solar- and wind-generated electricity, [Versão electrónica]. *The Royal Society of Chemistry, Energy Environ. Sci.*, **6**, 2804-2810.
- BOXWELL, M., 2011, *Solar Electricity Handbook: A Simple, Practical Guide to Solar Energy: how to Design and Install Photovoltaic Solar Electric Systems*, (United Kingdom: Greenstream Publishing).
- BRANCO, M. C., e COITO, A., 2011, *Servidões e Restrições de Utilidade Pública*, (Lisboa: DGT).
- BRITO, R. S., 1994, *Portugal Perfil Geográfico*, (Lisboa: Editorial Estampa).
- BUCHADAHL, J., 2002, *Weather & Climate – Teaching Pack for Key Stage 4 and A-Level*, (Manchester: Atmosphere, Climate & Environment).
- BUCKLEY, D. J., 1998, *The GIS Primer – An Introduction to Geographic Information Systems*, (Innovative GIS Solutions, Inc.).
- BURROUGH, P., MCDONNELL, R., 1998, *Principles of geographical information systems*, (Oxford University Press).
- CABRAL, P., 2011a, *Unidade de Aprendizagem 1: Introdução à Modelação em SIG*, Elementos de Estudo da Unidade Curricular 1 de Modelação em SIG, Mestrado de Ciência & SIG, ISEGI-UNL, Lisboa.
- CABRAL, P., 2011b, *Módulo 1: Introdução ao modelo matricial. Ferramentas de análise espacial*, Elementos de Estudo da Unidade Curricular 1 de Modelação em SIG, Mestrado de Ciência & SIG, ISEGI-UNL, Lisboa.
- CABRAL, A.V., 2012, *Análise multicritério em sistemas de informação geográfica para a localização de aterros sanitários. O caso da região sul da ilha de Santiago, Cabo Verde*. Tese de mestrado, FCSH/UNL, Lisboa.
- CÂMARA MUNICIPAL DE OURIQUE, 2001, *Plano Municipal Director Municipal de Ourique, Plantas de Condicionantes e Complementares de Ordenamento em formato shapefile*.
- CÂMARA MUNICIPAL DE OURIQUE, 2006, *Rede ferroviária do Concelho de Ourique em formato shapefile*.
- CÂMARA MUNICIPAL DE OURIQUE, 2008, *Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios do Concelho de Ourique (2008-2014)*, (Ourique: CMO).
- CÂMARA MUNICIPAL DE OURIQUE, 2010, *Área de intervenção dos Planos de Ordenamento das Albufeiras no Concelho de Ourique em formato shapefile*.

- CÂMARA MUNICIPAL DE OURIQUE, 2011, *Área de intervenção dos Planos de Pormenor no Concelho de Ourique em formato shapefile*.
- CÂMARA MUNICIPAL DE OURIQUE, 2014a, *Aproveitamentos hidroagrícolas do Concelho de Ourique em formato shapefile*.
- CÂMARA MUNICIPAL DE OURIQUE, 2014b, *Linhas eléctricas de baixa, média, alta e muito alta tensão do Concelho de Ourique em formato shapefile*.
- CÂMARA MUNICIPAL DE OURIQUE, 2014c, *Marcos geodésicos do Concelho de Ourique em formato shapefile*.
- CÂMARA MUNICIPAL DE OURIQUE, 2014d, *Pedreiras do Concelho de Ourique em formato shapefile*.
- CÂMARA MUNICIPAL DE OURIQUE, 2014e, *Rede viária do Concelho de Ourique em formato shapefile*.
- CAMPO, S., HORA, G., 2004, Aplicação da Metodologia de Avaliação Multicritério ao Estudo da Aptidão da Bacia Hidrográfica do Rio Alenquer à Edificação, Usos Agrícola e Florestal. In *Proceedings of the ESIG 2004*, (Lisboa).
- CARVALHO, P., e RIBEIRO, J., 2009, *Territórios em Transformação: O Caso do Alentejo*, (Lisboa: Departamento de Prospectiva e Planeamento e Relações Internacionais – Divisão de Informação e Comunicação).
- CARRIÓN, J. A., ESTRELLA, A. E., DOLS, F. A., e RIDAO, A. R., 2008, The electricity production capacity of photovoltaic power plants and the selection of solar energy sites in Andalusia (Spain). *Renewable Energy*, **33**, 545-552.
- CETONLINE, 2012, Página do Center for EcoTechnology, (URL: <http://www.cetonline.org/>, consulta em 02-04-2012).
- CGIAR – CONSORTIUM FOR SPATIAL INFORMATION, 2004, *SRTM Data Search*, (URL: <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>, consulta a 02-02-2015).
- CHARABI, Y., e GASTLI, A., 2011, PV site suitability analysis using GIS-based spatial fuzzy multi-criteria evaluation, [Versão electrónica]. *Renewable Energy*, **36**, 2554-2561.
- CHAVES, A., e BAHILL, T., 2010, Location Sites for Photovoltaic Solar Pannels Pilot study uses DEM derived from LIDAR. *ArcUser Fall 2010*, 24-28.
- CH2M HILL, 2008, *Solar Energy Site Assessment (Phase 1)*. Final Report Prepared for: The Tucson Water Department and Arizona Electric Power Cooperative, Inc., Tucson.
- CHRYSOULAKIS, N., DIAMANDAKIS, M., e PRASTACOS, P., 2004, GIS Based Estimation and Mapping of Local Level Daily Irradiation on Inclined Surfaces. In *Proceedings of the 7th AGILE Conference on Geographic Information Science*, (Heraklion, Greece).
- CLIFTON, J., e BORUFF, B., 2010, *Site Options for Concentrated Solar Power Generation in the Wheatbelt*. Final Report, Institute for Regional Development, University of Western Australia.

- CMM, 2015, Página da Câmara Municipal de Moura, (URL: <http://www.cm-moura.pt/>, consulta em 15-08-2015).
- CMO, 2015, Página da Câmara Municipal de Ourique, (URL: <http://www.cm-ourique.pt/>, consulta em 20-08-2015).
- COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS, 2007, *Roteiro das Energias Renováveis – Energias Renováveis no Século XXI: construir um futuro mais sustentável*. Comunicação da Comissão ao Conselho e ao Parlamento Europeu, Bruxelas.
- COMISSÃO DE COORDENAÇÃO E DESENVOLVIMENTO REGIONAL DO ALENTEJO, 2008, *O Alentejo Hoje*, (Évora: CCDRA).
- COMISSÃO DE COORDENAÇÃO E DESENVOLVIMENTO REGIONAL DO ALENTEJO, 2014, *Uma Estratégia de Especialização Inteligente para o Alentejo*, (Évora: CCDRA).
- COMISSÃO DE COORDENAÇÃO E DESENVOLVIMENTO REGIONAL DO ALENTEJO, 2015, *Reserva Ecológica Nacional em formato shapefile do Concelho de Ourique*, (URL: [http://www.ccdr-a.gov.pt/ren/download.asp?Path=http://www.ccdr-a.gov.pt/Ren/download\\_data](http://www.ccdr-a.gov.pt/ren/download.asp?Path=http://www.ccdr-a.gov.pt/Ren/download_data), consulta a 10-02-2014).
- COMISSÃO EUROPEIA, 2011, *Roteiro de transição para uma economia hipocarbónica competitiva em 2050*. Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeia, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões, Bruxelas.
- COWEN, D. J., 1988, GIS versus CAD versus DBMS: What Are the Differences? *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **54**, 1551- 1555.
- DAHLE, D., ELLIOTT, D., HEIMILLER, D., MEHOS, M., ROBICHAUD, R., SCHWARTZ, M., STAFFORD, B., e WALKER, A., 2008, *Assessing the Potential for Renewable Energy Development on DOE Legacy Management Lands*. Report of the National Renewable Energy Laboratory, Colorado.
- DAVEAU, S., 2000, *Portugal Geográfico*, (3ª edição), (Porto: Edições João Sá da Costa).
- DECRETO de 16-06-1910, D. R. I Série, **136 (23-06-1910)**, 2163-2166.
- DECRETO n.º 29/1990, D. R. I Série, **163 (17-07-1990)**, 2972-2974.
- DECRETO n.º 24/2013, D. R. I Série, **142 (25-07-2013)**, 4388.
- DECRETO-LEI n.º 597/1973, D. R. I Série, **260 (07-11-1973)**, 2132-2135.
- DECRETO-LEI n.º 143/1982, D. R. I Série, **96 (26-04-1982)**, 1012-1015.
- DECRETO-LEI n.º 139/1988, D. R. I Série, **94 (22-04-1988)**, 1572-1573.
- DECRETO-LEI n.º 169/2001, D. R. I Série-A, **121 (25-05-2001)**, 3053-3059.
- DECRETO-LEI n.º 86/2002, D. R. I Série-A, **81 (06-04-2002)**, 3257-3281.

- DECRETO-LEI n.º 276/2003, D. R. I Série-A, **255 (04-11-2003)**, 7340-7348.
- DECRETO-LEI n.º 49/2005, D. R. I Série-A, **39 (24-02-2005)**, 1670-1708.
- DECRETO-LEI n.º 55/2007, D. R. I Série, **50 (12-03-2007)**, 1551-1553.
- DECRETO-LEI n.º 142/2008, D. R. I Série, **142 (24-07-2008)**, 4596-4611.
- DECRETO-LEI n.º 17/2009, D. R. I Série, **9 (14-01-2009)**, 273-295.
- DECRETO-LEI n.º 46/2009, D. R. I Série, **36 (20-02-2009)**, 1168-1205.
- DECRETO-LEI n.º 73/2009, D. R. I Série, **63 (31-03-2009)**, 1988-2000.
- DECRETO-LEI n.º 107/2009, D. R. I Série, **94 (15-05-2009)**, 3014-3032.
- DECRETO-LEI n.º 319/2009, D. R. I Série, **213 (03-11-2009)**, 8320-8329.
- DECRETO-LEI n.º 239/2012, D. R. I Série, **121 (02-11-2012)**, 6308-6346.
- DECRETO-LEI n.º 151B/2013, D. R. I Série, **211 (31-10-2013)**, 6328(6)-6328(31).
- DECRETO-LEI n.º 141/2014, D. R. I Série, **181 (19-09-2014)**, 5012-5020.
- DECRETO REGULAMENTAR n.º 59/1984, D. R. I Série, **187 (13-08-1984)**, 2497-2500.
- DEPARTMENT OF GEOSCIENCES OF THE GEORGIA STATE UNIVERSITY, 2015, *Climate Literacy Labs – Lab 1: Solar Radiation & Seasons*, [URL: <http://sites.gsu.edu/geog1112/solar-radiation-seasons/>, consulta em 30-04-2015).
- DESPACHO n.º 13298/2014, D. R. II Série, **212 (03-11-2014)**, 27658-27661.
- DGPC, 2015, Página da Direcção Geral do património Cultural, (URL: <http://www.patrimoniocultural.pt/pt/>, consulta em 05-05-2015).
- DGT, 2013, Página da Direcção Geral do Território, (URL: <http://www.dgterritorio.pt>, consulta em 10-07-2013).
- DIRECÇÃO GERAL DE ENERGIA E GEOLOGIA, 2013, Portugal, Estatísticas e Preços, Electricidade – Energia Eléctrica – Consumos por Concelho – Por Número de Consumidores, (URL: <http://www.dgeg.pt?cn=68917002707171207608AAAA>, consulta a 31-03-2015).
- DIRECÇÃO GERAL DE ENERGIA E GEOLOGIA, 2014, Estatísticas e Preços – Energias Renováveis – Renováveis, Estatísticas Rápidas, n.º 120, (URL: <http://www.dgeg.pt?cn=6891700271487149AAAAAAA>, consulta em 25-01-2015).

- DIRECÇÃO GERAL DE ENERGIA E GEOLOGIA, 2015a, Estatísticas e Preços – Energias Renováveis – Produção de Energia Eléctrica a Partir de Fontes Renováveis de Portugal, (URL: <http://www.dgeg.pt?cr=13883>, consulta em 25-01-2015).
- DIRECÇÃO GERAL DE ENERGIA E GEOLOGIA, 2015b, Estatísticas e Preços – Energias Renováveis – Potência Instalada nas Centrais Produtoras de Energia Eléctrica 1995-2013, (URL: <http://www.dgeg.pt?cr=8583>, consulta em 25-01-2015).
- DIRECÇÃO GERAL DE ENERGIA E GEOLOGIA, 2015c, Portugal, Estatísticas e Preços – Balanços e Indicadores Energéticos, Principais Indicadores Energéticos, (URL: <http://www.dgeg.pt?cr=14001>, consulta a 27-01-2015).
- DIRECÇÃO GERAL DE ENERGIA E GEOLOGIA, 2015d, Portugal, Estatísticas e Preços, Eletricidade – Energia Elétrica – Consumos por Concelho – Por Tipo de Consumo, (URL: <http://www.dgeg.pt?cn=68917002707171207606AAAA>, consulta a 31-03-2015).
- DIRECÇÃO GERAL DO TERRITÓRIO, 2014a, *Carta Administrativa Oficial de Portugal*, (URL: [www.dgterritorio.pt/ficheiros/cadastro/caop/caop\\_download/caop\\_2014\\_0/contaadcaop2014](http://www.dgterritorio.pt/ficheiros/cadastro/caop/caop_download/caop_2014_0/contaadcaop2014), consulta em 10-12-2014).
- DIRECÇÃO GERAL DO TERRITÓRIO, 2014b, *Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território – Avaliação do Programa de Acção 2007-2013*. Relatório, DGT: Lisboa.
- DIRECÇÃO GERAL DOS RECURSOS FLORESTAIS, 2006, [*Mapa Síntese: Plano de Regional de Ordenamento Florestal do Baixo Alentejo: Carta n.º 3*], Escala: 1:100000, 1 carta, ([Lisboa]: DGRF).
- DIRECTIVA 2001/77/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO, Jornal Oficial da União Europeia, **283 (27-10-2001)**, 33-40.
- DIRECTIVA 2006/32/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO, Jornal Oficial da União Europeia, **114 (05-04-2006)**, 64-85.
- DIRECTIVA 2009/28/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO, Jornal Oficial da União Europeia, **140 (23-04-2009)**, 16-62.
- E2P, 2015, Página da Energias Endógenas de Portugal, (URL: <http://e2p.inegi.up.pt/index.asp>, consulta em 05-02-2015).
- EASTMAN, J. R., 2012, *IDRISI Selva Manual, Manual version 17*, (Worcester-MA: Clark University, Clark Lab).
- ELDRANDALY, K., 2013, Developing a GIS-Based MCE Site Selection Tool in ArcGIS Using COM Technology, [Versão electrónica]. *The International Arab Journal of Information Technology*, **10** (3), 276-282.
- ENERGY.GOV, 2015, Página do Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, of the U. S. Department of Energy 2015, Solar Energy Glossary, (URL: <http://energy.gov/eere/office-energy-efficiency-renewable-energy>, consulta em 30-04-2015).
- ENVIRONMENTAL GOVERNANCE ADVISORS, e AJS&A, 2011a, *Agenda 21 Local de Ourique: Caracterização da Área Estratégica – Energias Alternativas*, (Lisboa).



- ENVIRONMENTAL GOVERNANCE ADVISORS, e AJS&A, 2011b, *Agenda 21 Local de Ourique: Caracterização da Área Estratégica – Localização Geográfica*, (Lisboa).
- ENVIRONMENTAL GOVERNANCE ADVISORS, e AJS&A, 2011c, *Agenda 21 Local de Ourique: Diagnóstico para a Sustentabilidade*, (Lisboa).
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, 2013, *ArcGIS 10.2 for Desktop* (Versão 10.2) [Software], (Redlands, CA: ESRI).
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, 2014, *ArcGIS Help 10.2, 10.2.1, and 10.2.2*, [Versão electrónica], (URL: <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/>, consulta a 01-08-2015).
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE ESPAÑA, 2009, *Soluciones de tecnología ESRI para el ámbito de las Energías Renovables*, (URL: [www.tracasa.es/documentacion/ESRI.pdf](http://www.tracasa.es/documentacion/ESRI.pdf), consulta em 20-05-2015).
- EUROPEAN COMMISSION, 2013, *Science for Energy*. JRC Thematic Report, Joint Research Centre, Brussels.
- EUROPEAN PHOTOVOLTAIC INDUSTRY ASSOCIATION, 2012, *Connecting the Sun – Solar Photovoltaics On The Road To Large/Scale Grid Integration*, (Brussels: Craig Winneker).
- EUROPEAN PHOTOVOLTAIC INDUSTRY ASSOCIATION, 2014, *Global Market Outlook for Photovoltaics 2014-2018*, (Brussels: Tom Rowe).
- EUROSTAT, 2015, Energy dependence (%), Dados estatísticos para a UE entre 2001-2012, (URL: <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=tsdcc310&plugin=1>, consulta a 21-01-2015).
- FU, P., e RICH, P. M., 2000, *The Solar Analyst 1.0 User Manual*, (USA: Helios Environmental Modeling Institute).
- FUNBABASHI, T., 2011, A GIS Approach for Estimating Optimal Sites for Grid-Connected Photovoltaic (PV) Cells in Nebraska. *Environmental Studies Undergraduate Student Theses*, Paper 62, (URL: <http://digitalcommons.unl.edu/envstudtheses/62>, consulta a 30-06-2015).
- GAGNON, P., MARGOLIS, R., MELIUS, J., PHILLIPS, C., e ELMORE, R., 2016, *Rooftop Solar Photovoltaic Technical Potential in the United States*, (NREL: EUA).
- GASTLI, A., e CHARABI, Y., 2010, Solar electricity prospects in Oman using GIS-based solar radiation maps, [Versão electrónica]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **14**, 790–797.
- GENEX POWER, 2011, Página da Genex Power, (URL: <http://www.genexpower.com.au/>, consulta em 09-02-2016).
- GEOCOMMUNITY, 2014, Página da GeoCommunity TM, (URL: <http://www.geocomm.com/>, consulta em 03-08-2015).

- GONÇALVES, J. A., 2014, 5. *Configuração da transformação no ArcGIS (versões 9.2 e 9.3) e outros programas*, (URL: <http://www.fc.up.pt/pessoas/jagoncal/coordenadas/parte5.htm>, consulta em 14-10-2014).
- GOODCHILD, M., PARKS, B., e STEYAERT, L., 1993, *Environmental modelling with GIS, Part I: Six introductory Perspectives*, (Oxford University Press).
- GOODCHILD, M. F., e KEMP, K.K., 1990, *NCGIA Core Curriculum in GIS*, (National Center for Geographic Information and Analysis, University of California, Santa Barbara CA), (URL: <http://ibis.geog.ubc.ca/courses/klink/gis.notes/ncgia/toc.html>, consulta em 31-07-2015).
- GREEN RHINO ENERGY LTD., 2013, *Página da Green Rhino Energy Ltd.*, (URL: <http://www.greenrhinoenergy.com/>, consulta em 02-11-2014).
- GREENPRO, 2004, *Energia Fotovoltaica: Manual sobre tecnologias, projecto e instalação*, (Lisboa: Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa), (URL: <http://www.voltimum.pt/news/583/cm/manual-sobre-tecnologias--projecto-e-instalacao-de-energias-fotovoltaicas.html>, consulta em 11-12-2012).
- GRIMONI, J., GALVÃO, L. e UDAETA, M., 2004, *Iniciação a conceitos de sistemas energéticos para o desenvolvimento limpo*, (São Paulo: Edusp), (URL: [http://books.google.pt/books?id=EJS3ipinXsUC&printsec=frontcover&hl=pt-PT&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](http://books.google.pt/books?id=EJS3ipinXsUC&printsec=frontcover&hl=pt-PT&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false), consulta em 10-04-2012).
- GRUPO DE TRABALHO DE ENERGIA SOLAR (Ed.s) 2014, *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*, (Rio de Janeiro: CEPEL – CRESESB).
- GRUPO DE TRABALHO DO ATLAS, 1988, *Radiação Solar – Nota Explicativa I.3 do Atlas do Ambiente de Portugal*, (Lisboa: Secretaria de Estado do Ambiente e dos Recursos Naturais).
- HOFIERKA, J., e ŠÚRI, M., 2002, The solar radiation model for Open source GIS: implementation and applications. In *Proceedings of the Open source GIS - GRASS users conference 2002*, (Italy), pp. 11-13.
- HOTT, R., BROWNSON, J., e SANTINI, R., 2012, GIS-based Spatial Analysis for Large-scale Solar Power and Transmission Line issues: Case Study of Wyoming, U.S.. In *Proceedings of the Solar Conference*, (Boulder, Colo), 2274-2279.
- HULD, T., MÜLLER, R. e GAMBARDILLA, A., 2012, A new solar radiation database for estimating PV performance in Europe and África, [Versão electrónica]. *Solar Energy*, **86**, 1803-1815.
- IGEO, 2015, *Serviço WMS da Série Cartográfica Nacional 1:50 000 (Série M7810)*, (URL: <http://www.igeo.pt/WMS/Cartografia/SC50K>, consulta a 10-05-2015).
- IGNIZIO, D. A., 2010, *Suitability modeling and the location of utility-scale solar power plants in the southwestern United States*. Tese de mestrado, University of New Mexico, Albuquerque.
- INSTITUTO DA CONSERVAÇÃO DA NATUREZA E DAS FLORESTAS, 2012, *Cartografia da Rede Natura 2000 em Portugal continental, em formato shapefile*, (URL <http://www.icnf.pt/portal/naturaclac/cart/ap-rn-ramsar-pt>, consulta a 10-08-2015).

- INSTITUTO DA CONSERVAÇÃO DA NATUREZA E DAS FLORESTAS, 2013, *Cartografia nacional das áreas ardidas de 2000 a 2013 em formato shapefile*, (URL: <http://www.icnf.pt/portal/florestas/dfci/inc/info-geo>, consulta a 10-08-2015).
- INSTITUTO GEOGRÁFICO PORTUGUÊS, 2010, *Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental para 2007, nível 1, em formato shapefile*, (URL: [http://www.igeo.pt/e-IGEO/egeo\\_downloads.htm](http://www.igeo.pt/e-IGEO/egeo_downloads.htm), consulta a 03-04-2012).
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA, 2011a, *V Recenseamento Geral da Habitação*, (Lisboa: INE).
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA, 2011b, *XV Recenseamento Geral da População*, (Lisboa: INE).
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA, 2013, *Anuário Estatístico da Região do Alentejo*, (Lisboa: INE).
- INSTITUTO PORTUGUÊS DE ENERGIA SOLAR, AGÊNCIA REGIONAL DE ENERGIA E AMBIENTE DO NORTE ALENTEJANO E TEJO, COMUNIDADE INTERMUNICIPAL DO ALTO ALENTEJO, 2014, *Projeto RETALER II – Mapeamento Solar do Alto Alentejo*, Relatório Trimestral n.º 2.
- INSTITUTO PORTUGUÊS DO MAR E DA ATMOSFERA, 2015a, [Radiação Solar Global de Portugal para o período 2015-02], 1 carta, (Lisboa: IPMA).
- INSTITUTO PORTUGUÊS DO MAR E DA ATMOSFERA, 2015b, [Radiação Solar Global de Portugal para o período 2015-06], 1 carta, (Lisboa: IPMA).
- INSTITUTO PORTUGUÊS DO MAR E DA ATMOSFERA, 2015c, *Informação Meteorológica – Temperatura mínima, temperatura máxima e radiação solar, para os concelhos do Distrito de Beja, de 2009-2014*, (Lisboa: IPMA).
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2010, *Technology Roadmap: Solar photovoltaic energy*, (France: OECD/IEA), (URL: [http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/pv\\_roadmap.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/pv_roadmap.pdf), consulta em 03-04-2013).
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2014, *Technology Roadmap: Solar photovoltaic energy*, (France: OECD/IEA), (URL: [http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapSolarPhotovoltaicEnergy\\_2014edition.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapSolarPhotovoltaicEnergy_2014edition.pdf), consulta em 30-03-2015).
- IPMA, 2015, Página do Instituto Português do Mar e da Atmosfera, (URL: <https://www.ipma.pt/pt/index.html>, consulta em 20-02-2015).
- ITACA, 2015, Página de ITACA, (URL: <http://www.itacanet.org>, consulta em 23-04-2015).
- JANKE, J. R., 2010, Multicriteria GIS modelling of wind and solar farms in Colorado [Versão electrónica]. *Renewable Energy*, **35**, 2228-2234.
- JIANG, CARL Y. H., 2014, Estimate Instantaneous Solar Radiation Incident upon Terrain in Bushfire Zone Using Digital Elevation Model and Natural Disaster Forecast [Versão electrónica]. *American Journal of Geographic Information System*, **3**, 45-61.

- JOERIN, F., THERIAULT, M., e MUSY, A., 1998, GIS and Multicriteria Analysis for Land Management. In *Proceedings of the COST C4 Final Conference*.
- JOERIN, F., THERIAULT, M., e MUSY, A., 2001, Using GIS and outranking multicriteria analysis for landuse suitability assessment [Versão electrónica]. *International Journal of Geographical Information Systems*, **15** (2), 153-174.
- JULIÃO, R., 2012, *Manual da Unidade Curricular de Sistemas de Informação Geográfica nas Organizações – módulos 1 a 4*, Mestrado de Ciência & SIG, ISEGI-UNL, Lisboa.
- KALOGIROU, S.A., 2009, *Solar Energy Engineering: Processes and Systems*, (Oxford: Elsevier; Academic Press).
- KALE, R., e Yichun, X., 2005, Multi-Criteria Analysis using Preference Function Method for Developing a Rental Property Search Tool in GIS. In *Proceedings of the ESRI User Conference*.
- KENNY, R., HULD, T., IGLESIAS, S., 2006, Energy rating of PV modules bases on PVGIS irradiance and temperature database. In *Proceedings of the 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference*, (Dresden, Germany).
- LEI n.º 2110/1961, D. R. I Série, **192 (19-08-1961)**, 1029-1044.
- LEI n.º 107/2001, D. R. I Série-A, **209 (08-09-2001)**, 5808-5829.
- LEI n.º 58/2005, D. R. I Série-A, **249 (29-12-2005)**, 7280-7310.
- LEI n.º 58/2007, D. R. I Série, **170 (04-09-2007)**, 6126-6181.
- LEI n.º 34/2015, D. R. I Série, **81 (27-04-2014)**, 2080-2098.
- LEITELT, L., 2010, *Developing a Solar Energy Potential Map*. Master's Project, University of North Carolina, Chapel Hill.
- MALCZEWSKI, J., 2006, A GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature, [Versão electrónica]. *International Journal of Geographical Information Science*, **20** (7), 703–726.
- MALCZEWSKI, J., e RINNER, C., 2015, *Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science*, (New York: Springer Science, Business Media).
- MAYFIELD, R., 2010, *Photovoltaic Design and Installation For Dummies*, (Indianapolis: Wiley Publishing, Inc).
- MCKINNEY, M., 2014, Site Suitability Analysis for a Solar Farm in Watauga County, NC. *Journal of Student Research in Environmental Science at Appalachian*, **4**, 62-75.
- MENDES, J. F., e JOYCE, A., 2009, Tema 2 – Potencial da Energia Solar Térmica e Fotovoltaica. In *Proceedings of the Consumo Sustentável e Alterações Climáticas – Market Lounge*, (Lisboa).

- MENDIBURU, F., 2009, Aplicación de las herramientas GIS en las energías renovables. In *Proceedings of the I Jornada sobre los Sistemas de Información Geográficos aplicados a las Energías Renovables y a las Utilities*, (Pamplona: Tracasa), (URL: [http://www.tracasa.es/documentacion/ACCIONA\\_GIS\\_Energias.pdf](http://www.tracasa.es/documentacion/ACCIONA_GIS_Energias.pdf), consulta em 17-04-2012).
- MINISTÉRIO DA ECONOMIA DA INOVAÇÃO E DO DESENVOLVIMENTO, 2010, *Renewable, Novas Energias a Inspirar Portugal*, (Lisboa: MEID).
- MINISTÉRIO DO AMBIENTE, DO ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL, 2006a, *Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território – Programa de Acção*, (Lisboa: MAOTDR).
- MINISTÉRIO DO AMBIENTE, DO ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL, 2006b, *Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território – Relatório*, (Lisboa: MAOTDR).
- MINISTRY OF ECONOMY, TRADE, AND INDUSTRY OF JAPAN, e NATIONAL AERONAUTIC AND SPACE ADMINISTRATION, 2011a, *ASTER Global Digital Elevation Model Version 2 – Summary of Validation Results*, (METI/NASA).
- MINISTRY OF ECONOMY, TRADE, AND INDUSTRY OF JAPAN, e NATIONAL AERONAUTIC AND SPACE ADMINISTRATION, 2011b, *ASTER GDEM 2 README*, (METI/NASA).
- MONTEIRO-HENRIQUES, T., 2010, *Landscape and Phytosociology of the Paiva River's Hydrographical Basin*. Tese de Doutoramento, UTL/ISA, Lisboa.
- MOURA e SÁ, 2010, *Síntese das jornadas Produção de Energia Eléctrica a partir de Fontes Renováveis*, (Coimbra: Ordem dos Engenheiros da Região Centro).
- NASA, 2012, *Aster Global Digital Elevation Map*, (URL: <http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>, consulta em 02-02-2015).
- NASA EDUCATION, 2015, Página da National Aeronautics and Space Administration Education, (URL: <http://education.gsfc.nasa.gov/experimental/July61999siteupdate/inv99Project.Site/Pages/solar.insolation.html>, consulta em 23-04-2015).
- NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY, 2006, *National Renewable Energy Laboratory Report to Congress on Renewable Energy Resource Assessment Information for the United States, Prepared for U.S. Department of Energy Office of Energy Efficiency and Renewable Energy*, (USA: NREL).
- NEMES, C., e MUNTEANU, F., 2011, Potential Solar Irradiance Assessment based on a Digital Elevation Model, [Versão electrónica]. *Advances in Electrical and Computer Engineering*, **11** (4), 89-92.
- NEVES, N., 2011a, *Módulo 1: Representações geográficas e Modelos de dados espaciais, Secção 1 – Representações geográficas*, Elementos de Estudo da Unidade Curricular 1 de Dados Geo-espaciais, Mestrado de Ciência & SIG, ISEGI-UNL, Lisboa.
- NEVES, N., 2011b, *Módulo 1: Representações geográficas e Modelos de dados espaciais, Secção 2 – Modelos de dados espaciais e estrutura de dados – Parte 1*, Elementos de Estudo da Unidade Curricular 1 de Dados Geo-espaciais, Mestrado de Ciência & SIG, ISEGI-UNL, Lisboa.

- NEVES, N., 2011c, *Módulo 3: Dimensionalidade, Modelação Cartográfica e Análise de Redes*, Elementos de Estudo da Unidade Curricular 3 de Dados Geo-espaciais, Mestrado de Ciência & SIG, ISEGI-UNL, Lisboa.
- NUNES, J., 1998, *A Ciência dos Recursos Naturais e a Reconstrução da Economia: Zonas de Transição e Objetos de Fronteira*, (Coimbra: Oficina do CES, Centro de Estudos Sociais de Coimbra), (URL: <http://www.ces.uc.pt/publicacoes/oficina/ficheiros/109.pdf>, consulta em 15-05-2012).
- PHOTOVOLTAIC POWER SYSTEMS EXECUTIVE COMMITTEE OF THE INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2013, *Energy from the Desert – Very Large Scale Photovoltaic Power – State of the Art and Into The Future*, (Oxon: Routledge).
- PINHO, J. T., BARBOSA, C. F. O., PEREIRA, E. J. S., SOUZA, H. M. S., BLASQUES, L. C. M., GALHARDO, M. A. B., e MACÊDO, W. N., 2008, *Sistemas híbridos – Soluções energéticas para a Amazônia*, (1ª edição), (Brasília: Ministério de Minas e Energia).
- PORDATA, 2014a, Base de Dados da Europa, Ambiente, Energia e Território, Contribuição das energias renováveis na produção primária de energia (%), (URL: <http://www.pordata.pt/Europa/Contribuicao+das+energias+renovaveis+na+producao+primaria+de+energia+%28percentagem%29-1729>, consulta em 27-01-2015).
- PORDATA, 2014b, Base de Dados de Portugal, Ambiente, Energia e Território, Produção de energia eléctrica a partir de fontes renováveis (%), (URL: <http://www.pordata.pt/Portugal/Producao+de+energia+electrica+a+partir+de+fontes+renovaveis+%28percentagem%29-1232>, consulta em 27-01-2015).
- PORDATA, 2015a, Base de Dados de Municípios, Ambiente, Energia e Território, Consumidores de energia eléctrica: total e por tipo de consumo, (URL: <http://www.pordata.pt/Municipios/Ambiente+de+Consulta/Tabela>, consulta em 30-07-2015).
- PORDATA, 2015b, Base de Dados de Municípios, Ambiente, Energia e Território, Consumo de energia eléctrica por tipo de consumo (kWh), (URL: <http://www.pordata.pt/Municipios/Ambiente+de+Consulta/Tabela>, consulta em 30-07-2015).
- PORTARIA n.º 589/1997, D. R. I Série-B, **178 (04-08-1997)**, 4051-4052.
- PORTARIA n.º 522/2009, D. R. I Série, **94 (15-05-2009)**, 3032-3035.
- PORTARIA n.º 702/2009, D. R. I Série, **128 (06-07-2009)**, 4318.
- PROENÇA, E., 2007, *A Energia Sola Fotovoltaica em Portugal: Estado da Arte e Perspectivas de Desenvolvimento*. Tese de mestrado, IST/UTL, Lisboa.
- PVGIS, 2015, Página do Photovoltaic Geographical Information System do Institute for Energy and Transport do Joint Research Centre da European Commission, (URL: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/index.htm>, consulta em 30-03-2015).
- RAMACHANDRA, T., 2007, Solar energy potencial, [Versão electrónica]. *Energy Education Science Technology*, **18 (2)**, 101-114, (URL: [http://wgibis.ces.iisc.ernet.in/biodiversity/pubs/ces\\_pubs/pubs\\_2007/theme4\\_38.pdf](http://wgibis.ces.iisc.ernet.in/biodiversity/pubs/ces_pubs/pubs_2007/theme4_38.pdf), consulta em 05-11-2012).

- RAMOS, C., e, VENTURA, J. E., 1999, A Energia Solar em Portugal: potencialidades e diferenciação regional. In *Proceedings of the III Congresso da Geografia Portuguesa*, (Lisboa: APGEO e Edições Colibri), pp. 453-461.
- RAMOS, R. A., 2000, *Localização Industrial, um modelo espacial para o nordeste de Portugal*. Tese de Doutoramento. Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Braga.
- REDE ELÉCTRICA NACIONAL, 2008, *Segurança de Abastecimento ao nível da Produção de Electricidade – Análise intercalar – Período 2009-2020*, (Lisboa: REN).
- RESOLUÇÃO DO CONSELHO DE MINISTROS n.º 35/2001, D. R. I Série-B, **7 (03-04-2001)**, 1989-2002.
- RESOLUÇÃO DO CONSELHO DE MINISTROS n.º 154/2003, D. R. I Série-B, **225 (21-12-2007)**, 8992-9005.
- RESOLUÇÃO DO CONSELHO DE MINISTROS n.º 185/2007, D. R. I Série, **246 (29-09-2003)**, 6333-6343.
- RESOLUÇÃO DO CONSELHO DE MINISTROS n.º 24/2010, D. R. I Série, **64 (01-04-2010)**, 1090-1106.
- RESOLUÇÃO DO CONSELHO DE MINISTROS n.º 29/2010, D. R. I Série, **73 (15-04-2010)**, 270-271.
- RESOLUÇÃO DE CONSELHO DE MINISTROS n.º 53/2010, D. R. I Série, **148 (02-08-2010)**, 2962-3129.
- RESOLUÇÃO DE CONSELHO DE MINISTROS n.º 20/2013, D. R. I Série, **70 (10-04-2013)**, 2022-2091.
- RIBEIRO, O., 1998, *Portugal o Mediterrâneo e o Atlântico*, (7ª edição), (Lisboa: Augusto Sá da Costa Lda.)
- SANTOS, F. D., FORBES, K., e MOITA, R., 2002, *Climate change in Portugal: Scenarios, Impacts and Adaptation Measures*. SIAM project report, (Gradiva: Lisboa).
- SANTOS, T., GOMES, N., BRITO, M., FREIRE, S., FONSECA, A. e TENEDÓRIO, J. A., 2011, Solar Potential Analysis in Lisbon Using LIDAR Data, [Versão electrónica]. *Remote Sensing and Geoinformation*, (Praga: Lena Halounavá).
- SILVA, P., 2004, *Breve História da Energia Solar – Silício*, (URL: <http://web.ist.utl.pt/palmira/solar2.html>, consulta em 26-01-2016).
- SOLAR ENERGY INTERNATIONAL, 2004, *Photovoltaics: Design and Installation Manual*, (Canada: New Society Publishers)
- SOLARGIS, 2015, Página da SolarGIS, (URL: <http://solargis.info/>, consulta em 02-03-2015).
- ŠÚRI, M., HULD, T.A., DUNLOP, E.D. e OSSENBRINK, H.A., 2007, Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries, [Versão electrónica]. *Solar Energy*, **81**, 1295-1305.
- TISZA, K., 2014, *GIS-based suitability modeling and multi-criteria decision analysis for utility scale solar plants in four states in the southeast U.S.*. Tese de mestrado, The Graduate School of Clemson University, Clemson.

UE, 2015, Página da União Europeia, (URL: [http://europa.eu/index\\_pt.htm](http://europa.eu/index_pt.htm), consulta em 15-01-2015).

UNITED NATIONS, 1987, *Report of the World Commission on Environmental and Development World Commission on Environment and Development: Our Common Future*, (USA: Oxford University Press), (URL: <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>, consulta em 15-05-2012).

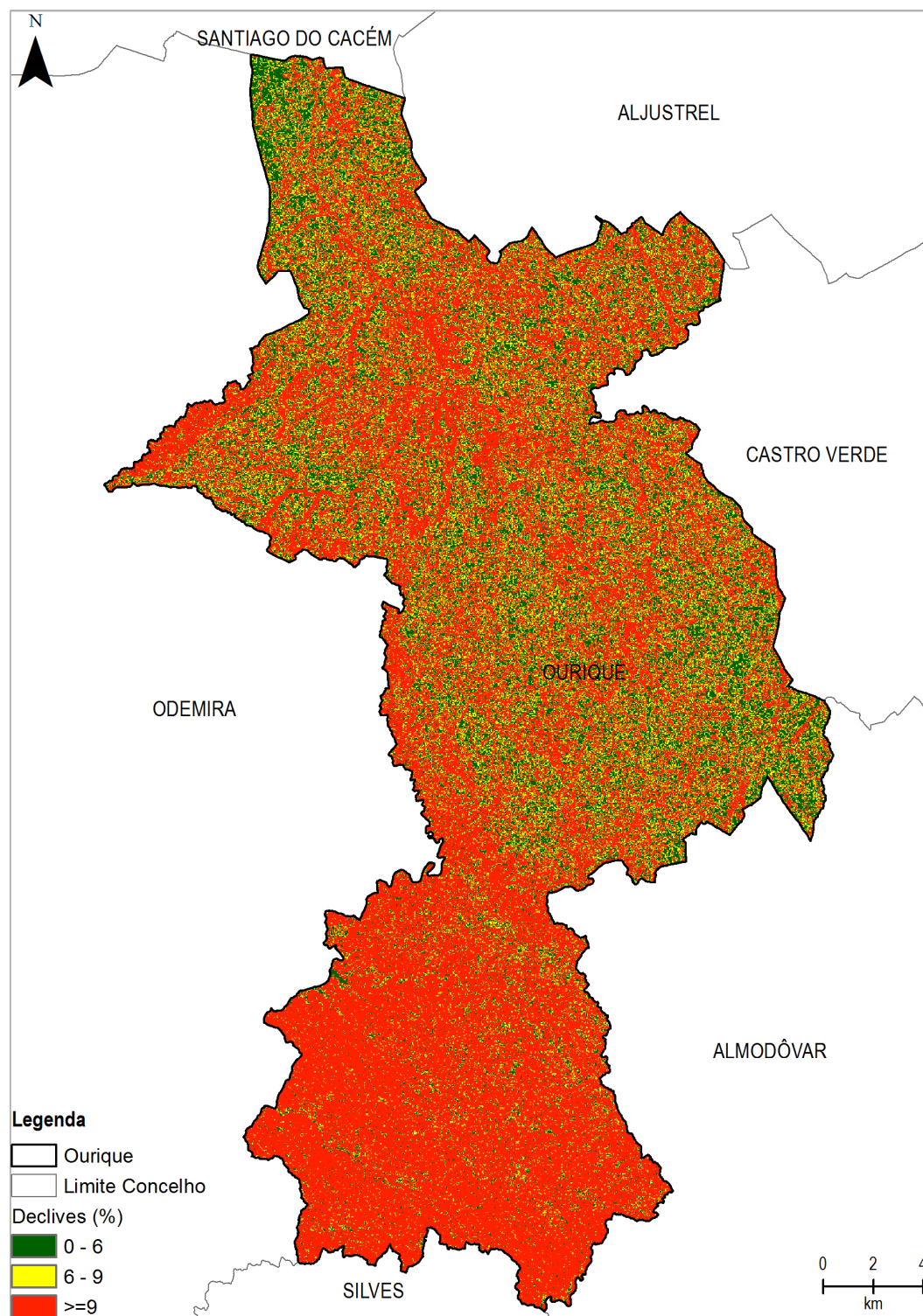
USGS, 2015, Página da U. S. Geological Survey (URL: <http://www.usgs.gov/>, consulta em 01-04-2015).

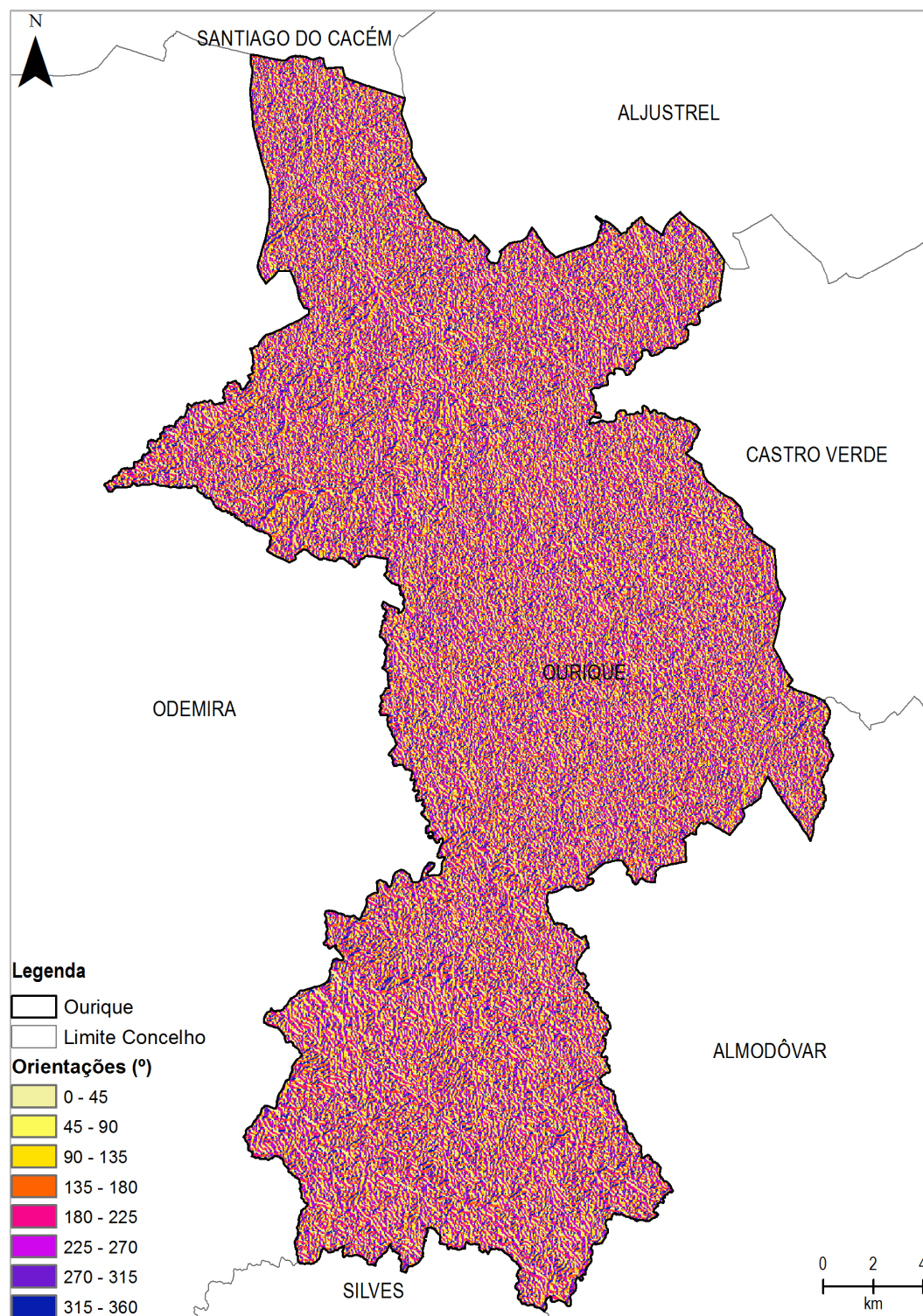
U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY'S, e NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY, 2013, *Solar Decision Tree*, (URL: [http://www.epa.gov/renewableenergyland/docs/solar\\_decision\\_tree.pdf](http://www.epa.gov/renewableenergyland/docs/solar_decision_tree.pdf), consulta em 05-08-2015).

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, 2012, *Renewable Energy and Electricity* (URL: <http://www.world-nuclear.org/info/inf10.html>, consulta em 17-05-2012).

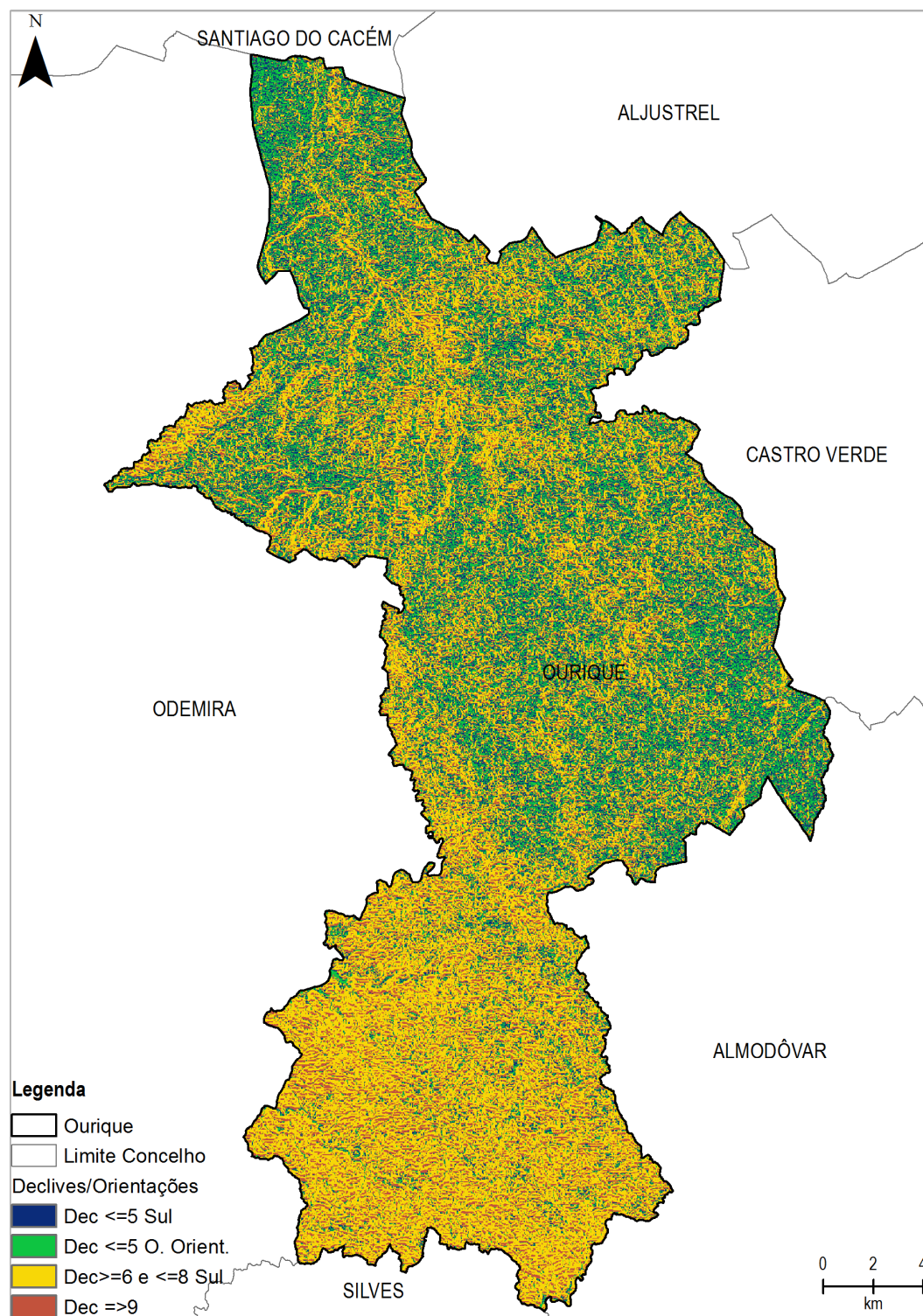


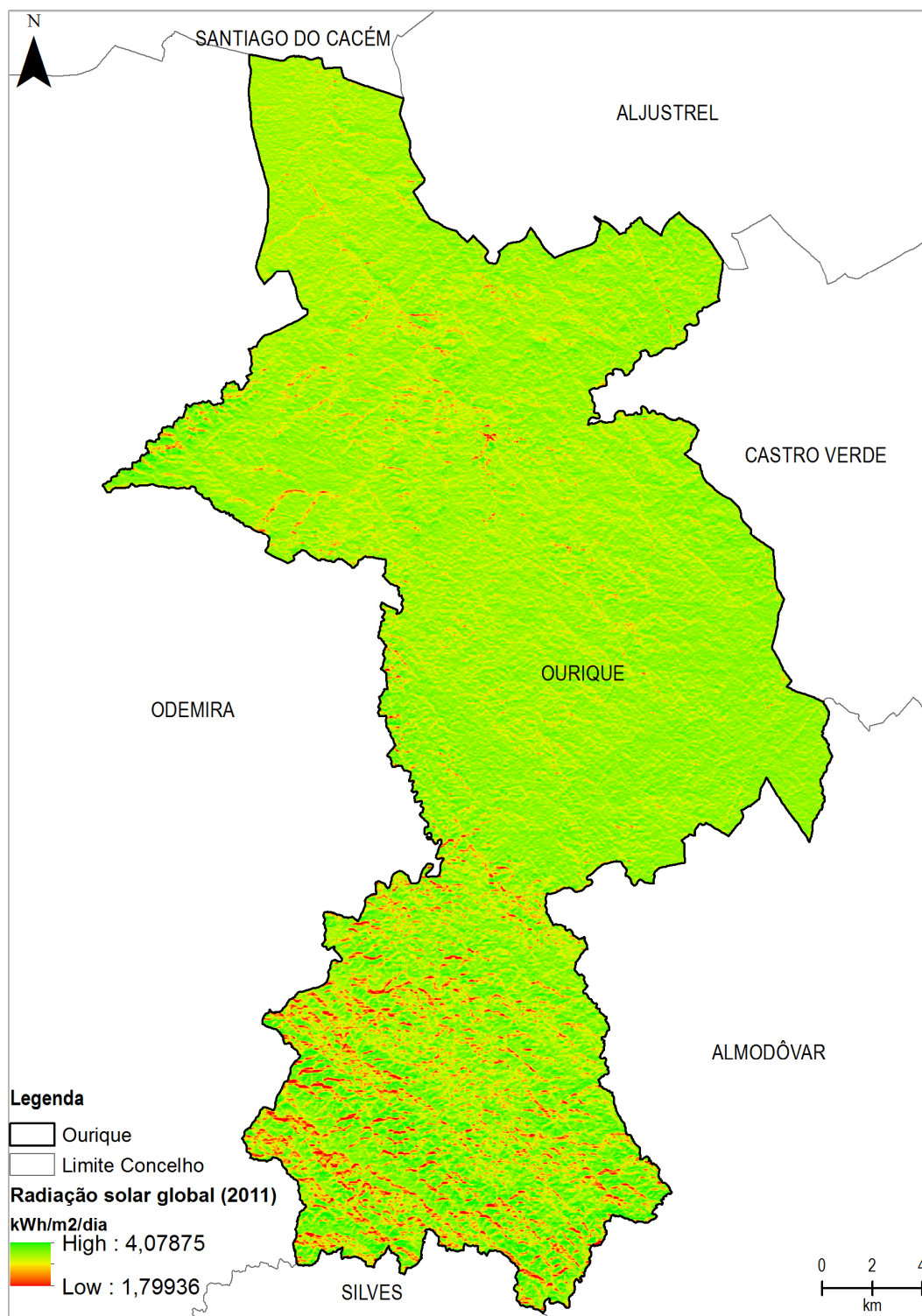
## **ANEXOS**





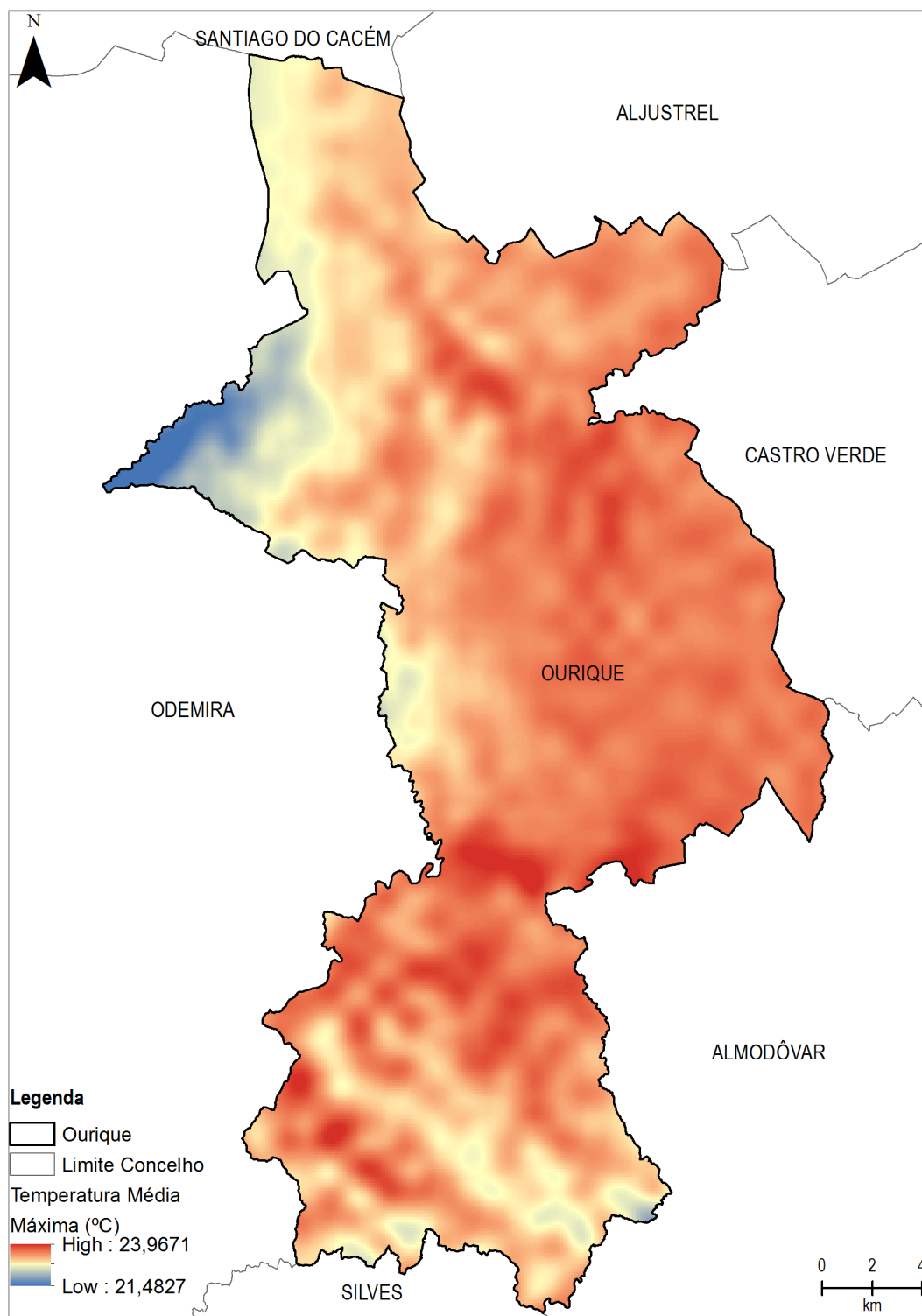






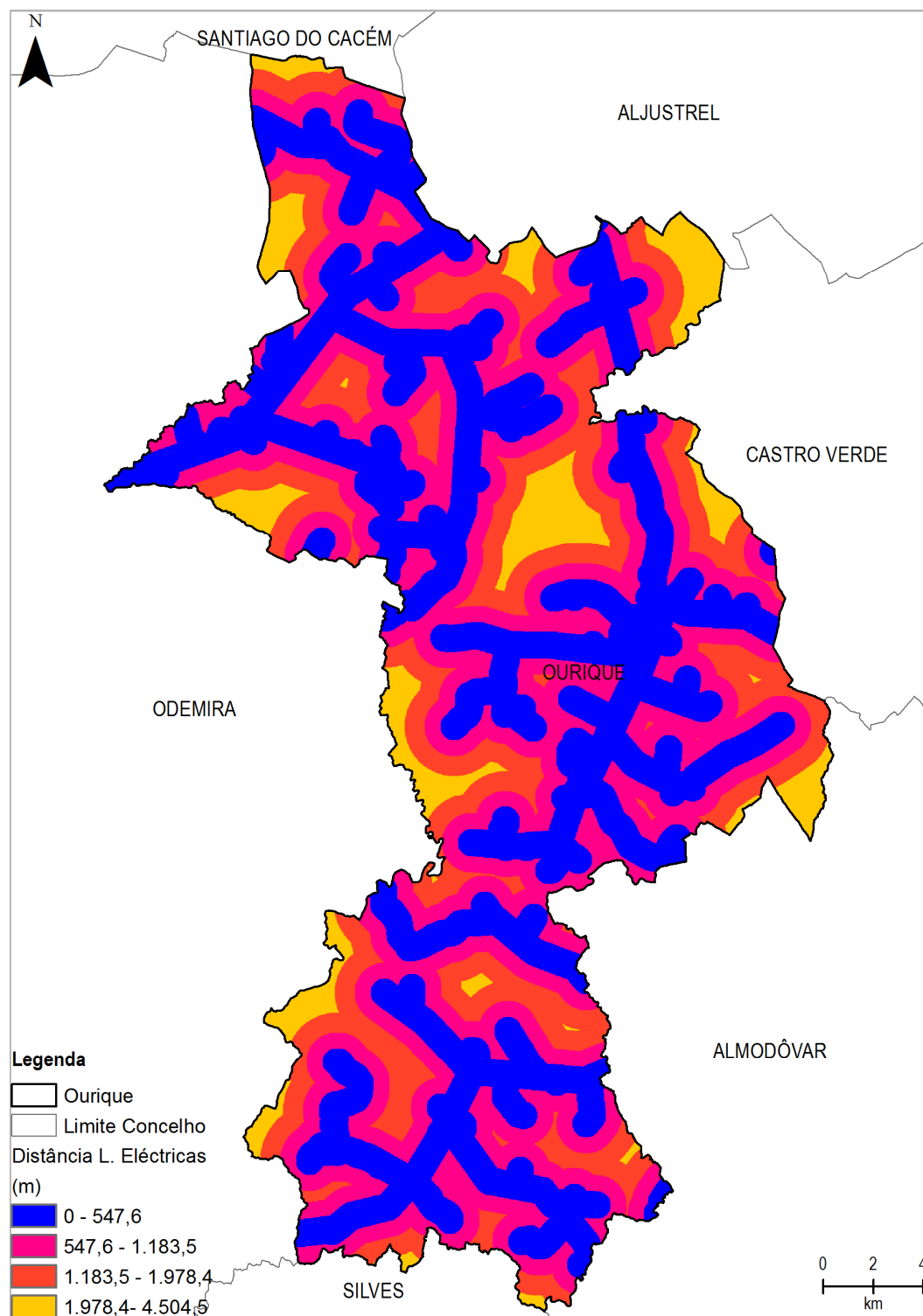
Mapa 4 – Radiação solar global do Concelho de Ourique para o ano de 2011 em kWh/m<sup>2</sup>/dia

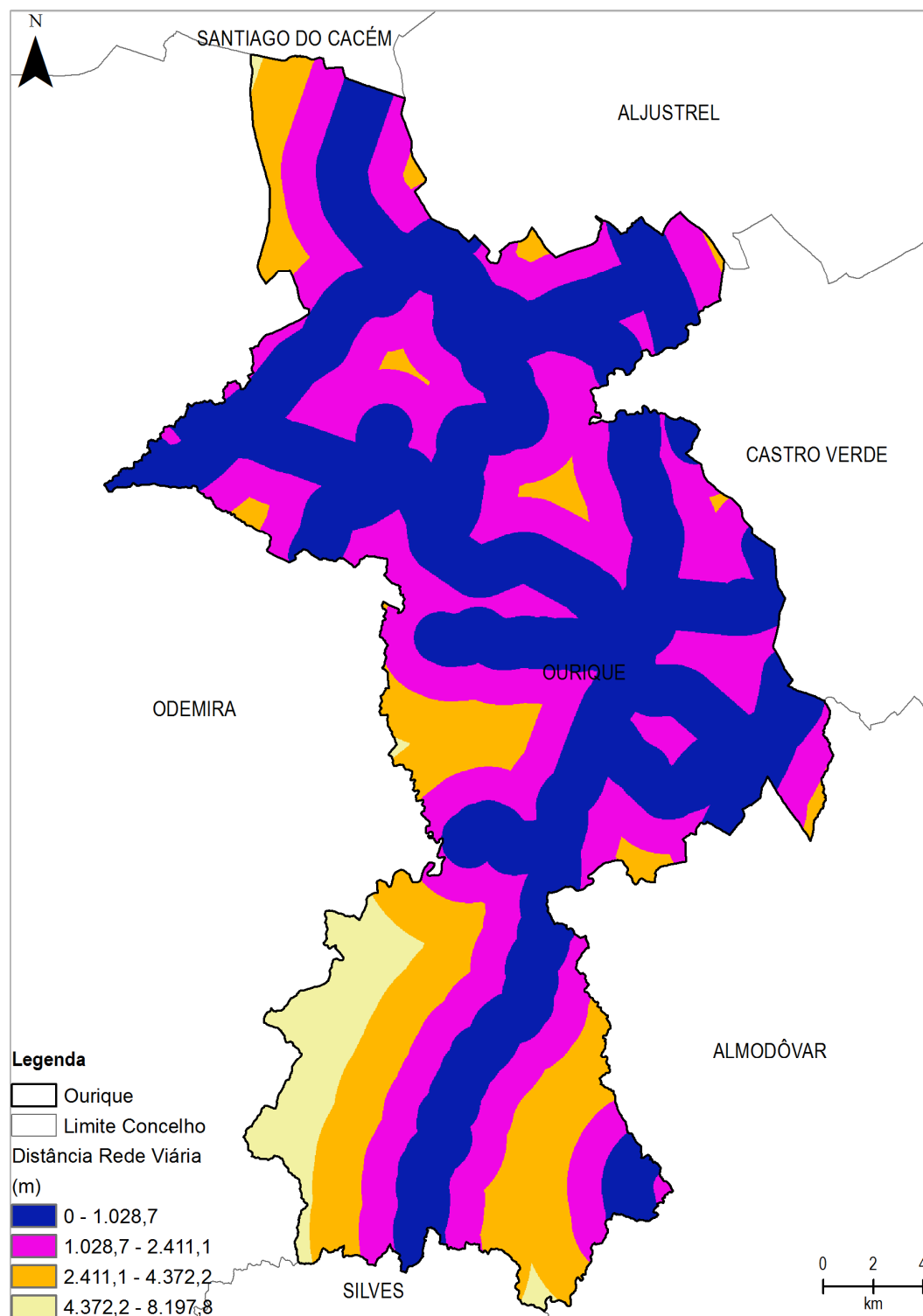
Fonte: Elaboração própria (NASA, 2012; DGT, 2014a)



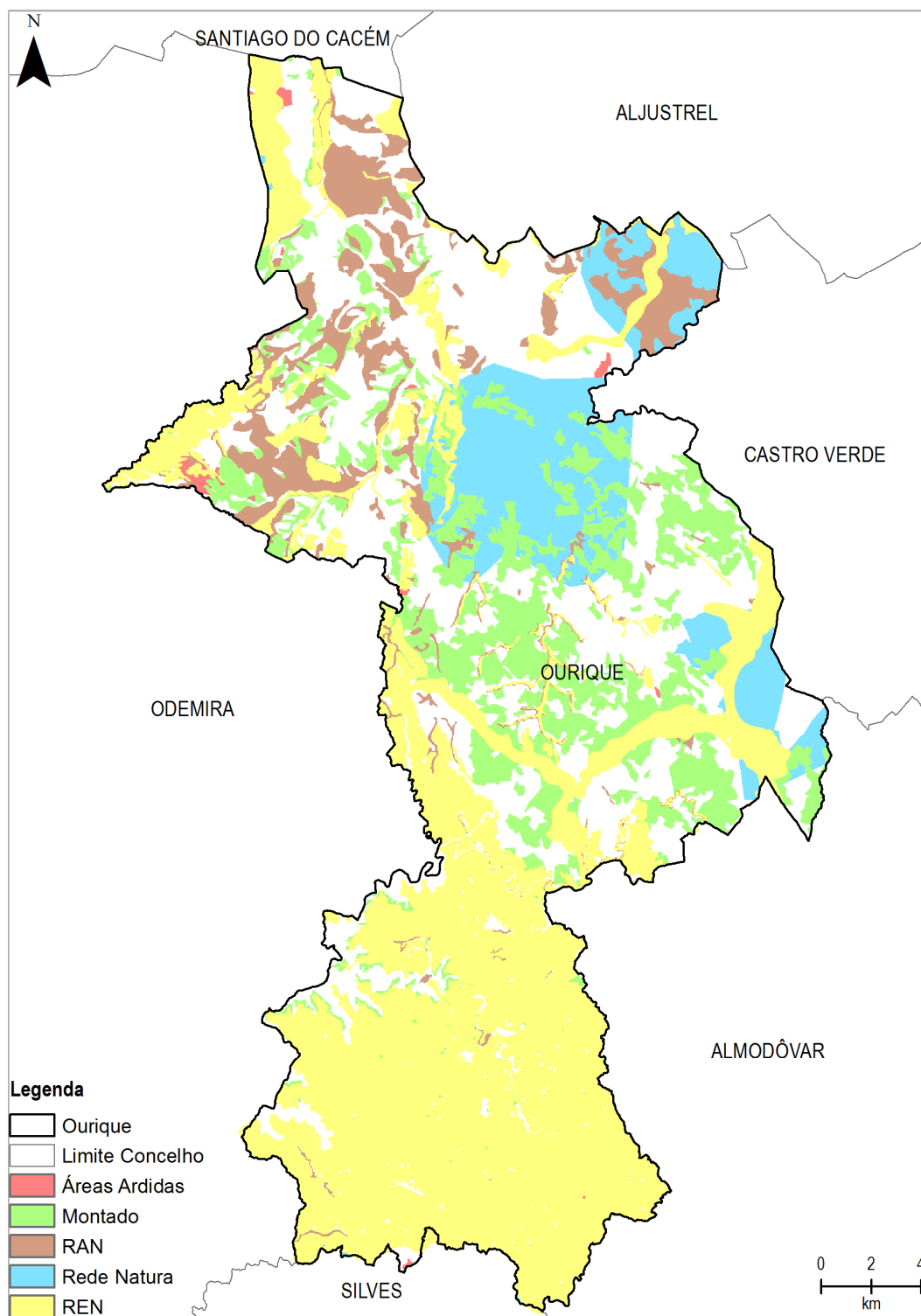
Mapa 5 – Temperaturas médias máximas dos meses mais quentes do Concelho de Ourique, em °C (1961-1991)

Fonte: Elaboração própria (Monteiro-Henriques, 2010; DGT, 2014a)



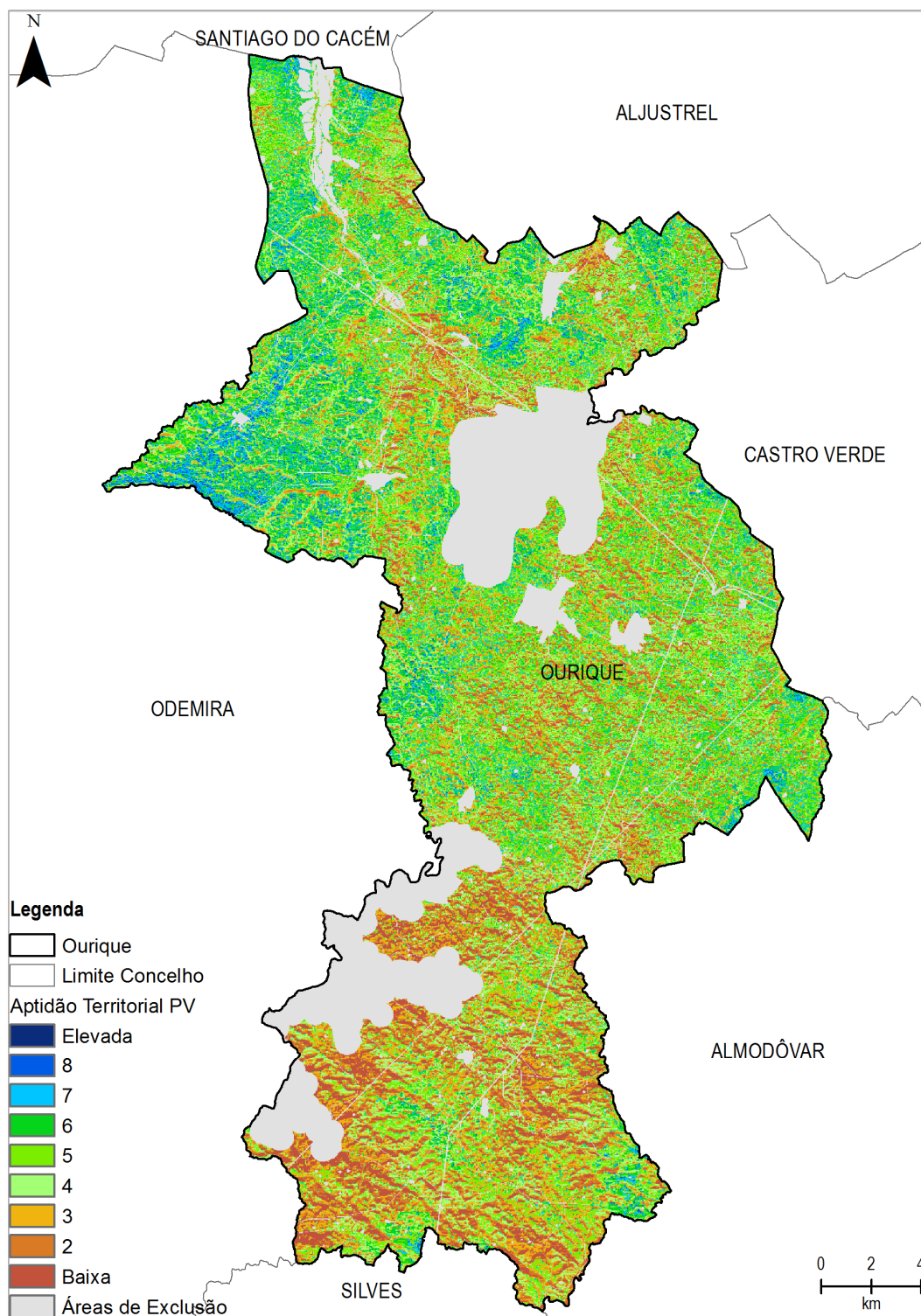






Mapa 8 – Condicionantes Territoriais de Ourique

Fonte: Elaboração própria (ICNF, 2012; ICNF, 2013; DGT, 2014a; CCDRA, 2015)



# C& SIG

-----

-----

-----

UNIGIS PT

**NOVA**  
**IMS**  
Information  
Management  
School